

Schwermetalluntersuchungen an Sedimenten
des Niddasystems

Inaugural-Dissertation
zur
Erlangung des Doktorgrades
der Naturwissenschaften

vorgelegt beim Fachbereich Geowissenschaften
der Johann Wolfgang Goethe-Universität
zu Frankfurt am Main

von
Michael Schreiber
aus Frankfurt

Frankfurt am Main 1982

Schwermetalluntersuchungen an Sedimenten
des Niddasystems

Inaugural-Dissertation
zur
Erlangung des Doktorgrades
der Naturwissenschaften

vorgelegt beim Fachbereich Geowissenschaften
der Johann Wolfgang Goethe-Universität
zu Frankfurt am Main

von
Michael Schreiber
aus Frankfurt

Frankfurt am Main 1982

Dekan: Prof.Dr. K. Vogel

1. Gutachter: Prof.Dr. W.L.F. Brinkmann

2. Gutachter: Prof.Dr. A. Semmel

Tag der Promotion: 8.12.1982

Gedruckt mit Genehmigung des Fachbereichs
Geowissenschaften



	Inhaltsverzeichnis	Seite
	Vorbemerkung	1
1.	Einleitung	2
2.	Problemstellung	3
3.	Das Untersuchungsgebiet	
3.1	Allgemeiner Überblick	5
3.2	Geologie und Geomorphologie	6
3.3	Böden	7
3.4	Erzvorkommen	9
3.5	Gewässernetz	9
3.6	Probennahmestellen	11
4.	Methodik	
4.1	Probennahme und Probenvorbereitung	12
4.2	Mineralzusammensetzung	
4.2.1	Schwerminerale	12
4.2.2	Ton- und Leichtminerale	12
4.3	Die Quantifizierung von Einzelelementen	
4.3.1	Vorbemerkung: Zur Zusammensetzung fluviatiler Sedimente	13
4.3.2	Einzelelementanalyse	
4.3.2.1	Gesamtgehalte mittels Röntgenfluoreszenzanalyse	14
4.3.2.2	Gesamtphosphor und organischer Kohlenstoff	14
4.3.3	Bestimmung der nichtsilicatgebundenen Elemente	
4.3.3.1	Aufschlußverfahren	15
4.3.3.2	Atomabsorptionsspektroskopische Analyse	15
4.3.3.3	Photometrische und titrimetrische Bestimmungen	16
4.3.3	Analysenmethodenvergleich	16



Digitized by the Internet Archive
in 2026

	Seite
5. Gesteine und Böden des Niddagebietes -der litho- und pedogene Background	
5.1 Petrographie der Gesteine	20
5.2 Chemismus der wichtigsten Gesteine und Böden	
5.2.1 Haupt- und Nebenelemente	22
5.2.2 Spurenmetalle in Gesteinen und Böden	24
5.3 Gebiete gleichen Schwermetallbackgrounds	28
6. Mineralogie, Haupt- und Nebenelementge- halte und natürlicher Schwermetallge- halt der untersuchten Sedimente	
6.1 Kriterien zur Beurteilung des Schwer- metallbackgrounds fluviatiler Sedimente	31
6.2 Die mineralogische Zusammensetzung der Flußsedimente	
6.2.1 Schwerminerale	32
6.2.2 Leicht- und Tonminerale	36
6.3 Die Haupt- und Nebenelementgehalte der untersuchten Sedimente	38
6.4 Die Berechnung des Schwermetallback- grounds der untersuchten Sedimente	
6.4.1 Bindungsarten von Schwermetallen in Gesteinen, Böden und aquatischen Sedimenten	40
6.4.2 Methodik zur Berechnung der natürlichen Schwermetallgehalte in den Sedimenten	43
6.4.3 Der berechnete Schwermetallbackground der Flußsedimente des Niddasystems	46
6.4.4 Bewertung der berechneten Schwer- metallgehalte	50
7. Schwermetallgesamtgehalte von Bett- und Hochwassersedimenten	
7.1 Bettsedimente	52
7.2 Hochwassersedimente	55
7.3 Schwermetallanreicherung in den Sedimenten	60

	Seite
8.	Diskussion der Ergebnisse
8.1	Vergleich mit Untersuchungen aus anderen Flußgebieten 64
8.2	Quellen erhöhter Schwermetallgehalte im Sediment 67
8.3	Gedanken zur Remobilisierbarkeit von Schwermetallen aus dem Sediment 68
8.4	Überlegungen zum Schwermetallgehalt des Wassers 70
8.5	Die Bedeutung der Schwermetallanreicherung in den Sedimenten für die Nutzung der Talauen
8.5.1	Auswirkungen von Schwermetallanreicherungen in Hochwassersedimenten im Hinblick auf die Nutzung von Hochwasserrückhaltebecken und anderen Überflutungsbereichen 74
8.5.2	Erforderliche Maßnahmen zur Verringerung der Schwermetallgehalte in den Sedimenten 75
9	Zusammenfassung 77
10.	Literaturverzeichnis 79
11.	Anhang
11.1	Auszug aus dem Source-Listing des Rechenprogramms zur Berechnung des geochemischen Backgrounds 94
11.2	Häufigkeitsverteilung, Summenkurven und statistische Basiswerte für Blei, Chrom, Kupfer, Nickel und Zink in den untersuchten Sedimenten des Niddagebietes 97

Vorbemerkung

Die vorliegende Arbeit entstand im Rahmen des IHP- Forschungsprojektes "Wirkungsgefüge Wasser/Sediment eines Fließgewässers am Beispiel der Nidda".

Für Anregungen und Unterstützung während der Arbeit möchte ich meinem verehrten Lehrer Herrn Prof. Dr. A. Semmel herzlich danken.

Mein Dank gilt auch Herrn Prof. Dr. W.L.F. Brinkmann für das Überlassen des Themas sowie sein Interesse an meiner Arbeit und für seine Bereitschaft, mir einen Arbeitsplatz sowie die notwendige Laborausstattung zur Verfügung zu stellen.

Herrn Prof. Dr. H. Urban danke ich für wertvolle Hinweise und Unterstützung beim Überarbeiten des Textes..

Herrn Dr. H. Johanning schulde ich für die Röntgenanalysen und darüber hinaus für die aus zahlreichen Diskussionen hervorgegangenen wertvollen Hinweise besonderen Dank.

Herrn Dr. H.D. Scheer danke ich für die Schwermineral- und Frau R. Kullmann für die Korngrößenbestimmungen, Frau U. Bursian für das Anfertigen einiger Zeichnungen und dem IHP für die finanzielle Unterstützung.

Nicht zuletzt bin ich meiner Frau für Hilfe und Verständnis während kritischer Phasen der Arbeit dankbar.

1. Einleitung

Die steigende Umweltbelastung durch toxische Metalle und Metalloide zeigt sich besonders an der zunehmenden Kontamination ober- und unterirdischer Wässer. Dies trifft heute schon nicht mehr allein auf die Ballungsgebiete zu, wo vor allem die Oberflächenwässer durch industrielle und kommunale Abwässer sowie durch metallhaltige Aerosole aus Industrie und Verkehr stark belastet werden. Auch im nichtindustrialisierten ländlichen Raum sind die Wasserressourcen durch Dünge- und Schädlingsbekämpfungsmittel sowie durch Abwässer oft schon stark mit Schwermetallen belastet.

Dies ist umso bedenklicher, als durch den erhöhten Wasserbedarf zunehmend auf Oberflächenwässer zurückgegriffen werden muß. Vor ihrer Nutzung als Trink- oder Bewässerungswasser müssen jedoch die Schwermetalle eliminiert werden, da eine Anreicherung dieser Stoffe in der Nahrungskette erhebliche Störungen der Gesundheit von Menschen zur Folge haben kann (BORNEFF 1974, FÖRSTNER u. WITTMANN 1979, HABERER u. NORMANN 1972).

Schon heute ist allenthalben bei erhöhten Schwermetallkonzentrationen im Gewässer eine erhebliche Minderung der Selbstreinigungseistung zu beobachten. Dies rührt in erster Linie daher, daß Schwermetalle als Fermentgifte auf Mikroorganismen toxisch wirken und ihre Abbauleistung herabsetzen (SEEKAMP 1977). Die Folge davon ist eine noch höhere Gewässerbelastung: ein *circulus vitiosus*.

2. Problemstellung

Die Sedimente als "Kehrrichtdeponien des Stoffumsatzes" (ZÜLLIG 1956:11) sind nicht allein geeignete Indikatoren für die Beurteilung des Zustandes eines Gewässers, da sie im Gegensatz zu wasserchemischen- und hydrobiologischen Untersuchungen, die jeweils nur eine momentane- bzw. kurzzeitige Stoffbelastung widerspiegeln, über einen längeren Zeitraum hinweg den Charakter eines Gewässers dokumentieren. Sie geben dem räumliche Beziehungen und Interdependenzen erforschenden Wissenschaftler darüber hinaus Aufschluß über den Zustand bzw. die Belastung des Einzugsgebietes mit toxischen Substanzen, da die Gewässer als Erosionsbasen Sammelbecken der im Niederschlagsgebiet erodierten Sedimente sind.

Der Beurteilung und Quantifizierung der Belastung von Flußsedimenten mit Schwermetallen müssen vor allem zwei Kriterien zugrunde gelegt werden und zwar

1. die Höhe der natürlichen, durch Böden und Gesteine des Einzugsgebietes bedingten Schwermetallkonzentrationen, die die Basis für die Berechnung von Anreicherungs-faktoren sind (LITHERATHY 1978) und
2. die Frage der Remobilisierbarkeit von Schwermetallen aus den Flußsedimenten.

Die vorliegende Arbeit untersucht die Sedimente des rechtsmainischen Niddasystems mit dem Ziel einer ersten Bestandsaufnahme der natürlichen und zivilisatorischen Belastung der aquatischen Ökosysteme durch Schwermetalle. Die Arbeit baut sich wie folgt auf:

Auf die Beschreibung der Geofaktoren des Einzugsgebietes folgt ein Abschnitt, in dessen Mittelpunkt ein Vergleich unterschiedlicher Analysemethoden bei der Bestimmung von Spurenmetallgehalten steht.

Einer Darstellung des Einzugsgebietsbackgrounds (unter Background ist in dieser Arbeit die "aktuelle

'natürliche' Umgebung", d.h. "die Metallgehalte in den Böden" und Gesteinen "des Einzugsgebietes" (FÖRSTNER u. MÜLLER 1974:63) zu verstehen) folgt die Bestimmung der Untergrundschwermetallkonzentrationen in den Flußsedimenten.

Im Mittelpunkt der Untersuchung steht die Beschreibung der Schwermetallgehalte der 215 im Verlauf der Untersuchungen¹⁾ entnommenen und analysierten Bett- und Hochwasserdedimente und ihre Anreicherung gegenüber dem Background. Die Quellen erhöhter Schwermetallbelastung werden beschrieben und es wird den Fragen nach den Schwermetallgehalten des Flußwassers und der Remobilisierung von Spurenmetallen aus den Sedimenten nachgegangen.

Am Schluß der Ausführungen wird das Problem einer potentiellen Gefährdung des Menschen als Folge der Nutzung von Wasser und Auenbereichen sowie erforderliche Maßnahmen zur Verringerung des anthropogenen Schwermetalleintrages in die Flüsse des Untersuchungsgebietes diskutiert.

1) Wegen des Umfangs war eine Publikation der Analysendaten nicht möglich. Sie können am Fachbereich Geowissenschaften der Universität Frankfurt von Interessenten eingesehen werden.

3. Das Untersuchungsgebiet

3.1 Allgemeiner Überblick

Die Nidda, ein rechter Nebenfluß des Main mit Mündung bei Frankfurt, entwässert ein Einzugsgebiet von 1941 qkm, dessen Hauptausdehnung sich von den Höhen des Taunus im SW bis zum Vogelsberg im NE hin erstreckt. Von der Gesamtfläche

Abb.1

Niederschlagsgebiet der Nidda
mit Probenahmestellen



des Gebietes entfallen 270 qkm auf den Taunus und 600 qkm auf den Vogelsberg. Zwischen beiden Gebirgszügen nimmt mit rund 1070 qkm die Wetterau die größte Fläche ein.

Durch die Nähe zum Frankfurter Ballungsgebiet und der damit verbundenen Umweltbelastung durch Industrie und Verkehr, durch die intensive landwirtschaftliche Nutzung der Wetterau - Waldanteil 15% (SCHRADER 1978) im Gegensatz zu 29% des Gesamteinzugsgebietes (Hess. Min. F. Landwirtschaft und Forsten 1968) -, durch starke Grundwasserentnahme im Vogelsberg, die im Sommer das Trockenfallen vieler Oberläufe zur Folge hat und nicht zuletzt durch die bis heute in weiten Bereichen des Untersuchungsgebietes nur mangelhaft gelöste Abwasserfrage sind die Gewässer dieses Raums z.T. erheblich belastet (BRINKMANN u. SCHREIBER 1978, HALM 1979, HILGENDORF u. BRINKMANN 1980, SCHREIBER 1976).

3.2 Geologie und Geomorphologie

Geologisch wie morphologisch ist das Niederschlagsgebiet dreigeteilt. Den NE nimmt der Vogelsberg ein. Als größter Basaltkomplex Mitteleuropas ist er im Miozän im Kreuzungsbereich der Mittelmeer-Mjösen Zone und der Saar-Saale-Senke entstanden. Er baut sich aus wechselgelagerten Basalten und Tuffen unterschiedlicher Varietäten auf (KREUZER et al. 1974, SCHORER 1970).

Morphologisch wird das Massiv durch mehrere pliozäne Verebnungsflächen (BIBUS 1975) sowie durch ein radialstrahlig verlaufendes, an alten Lavafließrichtungen orientiertes Talsystem gegliedert (WIEGAND 1977). Die meist in großen Quellkesseln endenden Flußtäler sind steilwandig, tiefeingeschnitten und oftmals von querlaufenden Verwerfungen durchsetzt (SCHOTTLER 1931, SCHULZE 1959).

Die tertiären Verebnungsflächen sind meist von pleistozänen Sedimenten überdeckt, in denen die rezenten Böden ausgebildet sind (POETSCH 1975, REICHMANN 1968). Wo diese

Decke fehlt, treten reliktsche tertiäre Böden an die Oberfläche (BIBUS 1975, WIRTZ 1972). Ausgangssubstrat für die Bodenbildung in den Talauen sind Kolluvialsedimente.

Im S des Vogelsberges schließt sich der Büdinger Wald mit seiner Buntsandstein Schichtstufe an. Im W ist das Ronneburger Hügelland vorgelagert, das sich vorwiegend aus Rotliegendeschichten aufbaut, die örtlich von Trappdecken überlagert sind (NAGEL 1965).

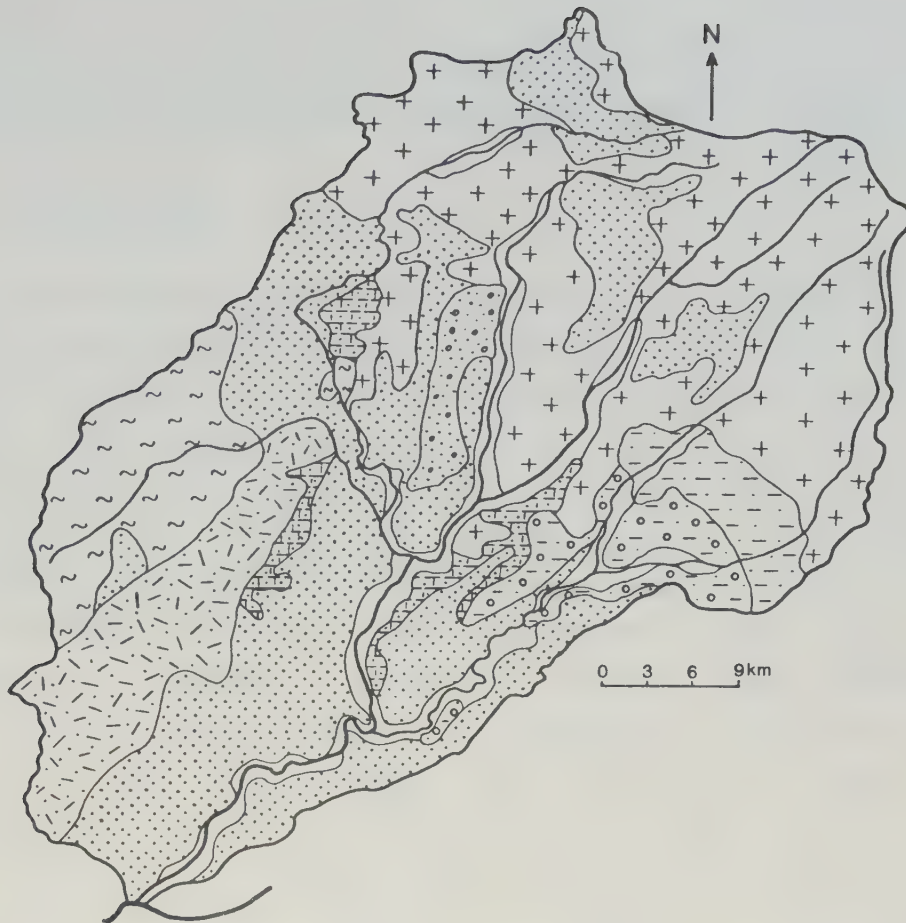
Das Zentrum des Niederschlagsgebietes, zwischen Vogelsberg und Taunus gelegen, nimmt das Senkungsgebiet der Wetterau ein. Es wird im N durch die Wetterauer Schwelle, im S durch den Horst der Hohen Straße begrenzt. Als Sedimentationsraum der Randgebirge ist die Wetterau mit tertiären Sedimenten verfüllt, die meist von teilweise mächtigen pleistozänen Ablagerungen überdeckt sind. Das Relief wird im Zentralbereich von Rücken, Riedeln und Verebnungen geprägt. Diese sind durch tektonische Senken (z.B. Horloffgraben) und Becken (z.B. Butzbacher Becken) voneinander getrennt (BIBUS 1976).

Im W hat das Niddasystem noch Anteil am devonischen Taunus. Hier herrschen als Gesteine Quarzite, Schiefer und Grauwacken vor. Die morphologisch dominante Form in diesem Bereich ist das Usinger Becken, ein intramontanes Becken mit eingeschalteten tertiären Flächensystemen (BIBUS 1971, 1976).

3.3 Böden

Das Ausgangssubstrat für die Bodenbildung ist, wie oben beschrieben, meist nicht das im Untergrund anstehende Gestein, sondern darüber liegende pleistozäne Solifluktsdecken, die neben Untergrundmaterial Löß bzw. Lößlehm enthalten (EHRENBERG u. HICKETHIER 1978, MICHELS 1977, POETSCH 1975, REICHMANN 1968, SCHRADER 1976, 1978).

Eine Aufstellung der verbreitetsten Böden auf den einzelnen geologischen Einheiten gibt Abb. 2. Alle Böden, mit Ausnahme der in den Auen befindlichen, weisen selbst auf relativ ebenen Bereichen häufig sehr starke Profilverkür-



	Formation	Gesteine	Böden	Grundwasserhöflichkeit l/s
	Unter Devon	Quarzit, Sandstein, Tonschiefer	Ranker bis Braunerde Parabraunerde - Pseudogley bis Pseudogley	0,2 - 3
	Unter Devon	Tonschiefer, Grauwackensandstein, Porphyroidschiefer	Braunerde - Ranker, Ranker Braunerde, Parabraunerde meist pseudovergleyt	0,2 - 1
	Rotliegendes	Konglomerat, Sand - Tonstein	Ranker bis Braunerde, Parabraunerde z.T. pseudovergleyt	0 - 10
	Buntsandstein	Sand - Tonstein, Konglomerat	Ranker bis Braunerde, Parabraunerde z.T. pseudovergleyt, Podsol	0 - 10
	Jungtertiär	Sand, Ton, Kalkstein	Rendzina bis sog. Parabraunerde	0 - 2
	Jungtertiär	Basalt, Tuff	Ranker bis Braunerde, Rotiehm reliktsch	0 - 20
	Jungtertiär	Kies, Sand, Ton, Braunkohle, Mergel und Mergelsand	Rendzina, Ranker, Braunerde, Parabraunerde, Pseudogley	0 - 2
	Pleistozän	Löß, Terrassensand - und Schotter	Rendzina, Tschernosem, Parabraunerde, Pseudogley	0 - 2
	Holozän	Auelehm	Brauner Aueboden, Gley, Niedermoor	0,2 - 10

Abb.2 Geologie, Böden und Grundwasserhöflichkeit im Niddagebiet zusammengestellt nach (Hess. Min. f. Landwirtschaft und Forsten 1968)

zungen durch Bodenerosion auf (BIBUS 1976, SCHRADER 1976, 1978).

3.4 Erzvorkommen

Die Erzvorkommen des Niddagebietes sind überwiegend als Verwitterungslagerstätten ausgebildet, aus denen Eisen und Mangan gewonnen wurde. Schwerpunkte dieses schon im Mittelalter betriebenen Bergbaus, der nach dem 1. Weltkrieg endgültig eingestellt wurde (KÖBRICH 1937), waren naturgemäß die Basaltgebiete. Zentren des Eisenbergbaus die Gegenden um Hirzenhain und Friedrichhütte. Das einzige erwähnenswerte nichtbasaltische Eisen-Mangan-Abbauggebiet sind die Lagerstätten bei Rosbach (Vortaunus) (KÖBRICH 1937, KÜMMERLE 1976).

Weitere Erzvorkommen im Niddagebiet sind die Bleiglangänge und Kupfererzorkommen im südöstlichen Taunus (ERNST 1973, KÖBRICH 1937, MICHELS 1977) sowie die Kupferletten des Zechsteins im Gebiet der Seemenbachmündung. Deren Erzführung besteht aus Kupferkies, Bleiglang, Zinkblende, Speiskobalt, Nickelkies und Pyrit (EHRENBERG u. HICKETHIER 1978). Die Erzgehalte betragen nach DIEDERICH u. EHRENBERG (1977) 0,3 - 1,5% Cu und 0,4 - 1,5% Pb.

3.5 Gewässernetz

Die meisten und zugleich wasserreichsten Flüsse des Niddasystems haben ihren Ursprung im Vogelsberg. Gründe hierfür sind zum einen die Luvlage des Gebirges, zum anderen der klüftige Basalt, der große Wassermengen in den Untergrund gelangen läßt. Durch die stauenden Tufflagen sind mehrere ergiebige Quellhorizonte ausgebildet (WIEGAND 1977).

Wichtigster Taunus tributär der Nidda ist die im Hintertaunus entspringende Usa, die in weitem nach S offenen Bogen das Usinger Becken und die Mörlener Bucht durchfließt und sich unterhalb von Friedberg mit der Wetter vereinigt. Weitere, nicht in die vorliegende Untersuchung miteinbezogene Taunuszuflüsse sind Erlenbach, Eschbach, Urselbach,

Steinbach, Westerbach und Sulzbach. Sie münden alle unterhalb Bad Vilbels in die Nidda.

Abb.3 Längsschnitt der untersuchten Flußbereiche



Während letztgenannte Flüsse die Nidda nach kurzem, steilen Verlauf erreichen, ist ein vor allem die Vogelsberggewässer kennzeichnendes Charakteristikum ein starker Gefälleknick, der beim Eintritt in die Wetterau entsteht. Weitere, das Fließ- und damit auch das Transportverhalten der untersuchten Flüsse beeinflussende Faktoren, die zu erheblichen Abweichungen vom in Abb.3 dargestellten Durchschnittsgefälle führen, sind im Vogelsberg natürliche Gefällsbrüche und Stauhaltungen, zahlreiche alte Mühlenwehre vor allem an Wetter und Usa, Talsperren an Nidda, Nidder und Hillersbach, sowie das Hochwasserrückhaltebecken am Seemenbach.

Neben den eben erwähnten Wasserbaumaßnahmen sind die Flußläufe mit Ausnahme der ausgebauten Ortslagen weitgehend naturbelassen. Neben den Ortslagen sind ausgebaut: Horloff-unterlauf (Teilausbau mit Flutgraben), Usa von Nieder-Mörlen bis zur Mündung (Teilausbau unter Beibehaltung der natürlichen Gewässersohle) und Nidda. Letztere wurde in den zwanziger Jahren im Stadtgebiet Frankfurt begradigt und mit einem Wehrsystem versehen (Kanalverwaltung des Städtischen Tiefbauamtes 1914). Im Zuge der Erfüllung des Wasserwirtschaftlichen Rahmenplanes von 1968 erfolgte bis 1973 ein weiterer Vollausbau bis Ober-Florstadt.

3.6 Probenahmestellen

Dem Untersuchungsziel entsprechend erfolgte die Auswahl der Probenahmestellen nach folgenden Kriterien:

1. Erfassung der Bettsedimente. Hierzu wurden 75 Proben aus den oberen 10cm sowie fünf 50cm umfassende Sedimentkerne entnommen. Beprobt wurden auf diese Art alle Flüsse mit Ausnahme der Nidda unterhalb Ober-Florstadt. Hier ist als Folge des Vollausbaus die Fließgeschwindigkeit so stark erhöht, daß bislang noch keine dauerhafte Sedimentbildung stattgefunden hat. Im durch Wehre gestauten Bereich der Nidda im Stadtgebiet von Frankfurt konnten wegen des Fehlens eines geeigneten Entnahmegerätes keine Proben gezogen werden.
2. Erfassung von Hochwassersedimenten verschiedener Hochwasserereignisse. Es gelang im Verlauf der Untersuchung im gesamten Einzugsgebiet 96 Sedimentproben nach Frühjahrs-, Sommer-, Herbst- und Winterhochwässern sowie 11 Schwebstoffproben aus Hochwässern zu entnehmen.
3. Erfassung der Aueböden. Hierzu wurden 24 Proben meist aus den Prallhängen bzw. in unmittelbarer Gewässernähe entnommen.
4. Ergänzend kamen noch drei Gesteinsproben (Basalt, Grauwacke und Tonschiefer) zur Untersuchung.

Die Probenahmebereiche sind in Abb.1 vermerkt.

4. Methodik

4.1 Probennahme und Probenvorbereitung

Die Probennahme erfolgte im wesentlichen auf zwei Arten. Bodenproben und Hochwassersedimente wurden mit einer PVC-Schaufel entnommen, Material aus dem Flußbett mit einem Kunststoffrohr.

Nach Trocknung bei 105°C und Absieben der Fraktion größer 2mm (mit teflonisierten Sieben) gelangte ein Teil der Probe zur Korngrößenbestimmung (Pipettverfahren: MÜLLER 1967). Von einem weiteren Teil wurden Feinsand (fS=0.2 - 0.063mm) und Grobschluffraktion (gU=0.063 - 0.02mm) zur Schwermineralbestimmung abgetrennt. Der Rest der Probe wurde gemahlen (Achat-Kugelmühle). Dies war unter der Maßgabe, nicht nur eine Fraktion zur Analyse zu bringen die einzige Möglichkeit, repräsentative und reproduzierbare Werte zu erhalten. Der Nachteil des Mahlens liegt darin, daß bei selektiven Aufschlüssen durch die vergrößerte Sedimentoberfläche auch Elemente erfaßt werden, die bei der unbehandelten Probe auf Grund ihrer Position in Mineralen nicht aufschließbar sind.

4.2 Mineralzusammensetzung

4.2.1 Schwerminerale

Die Schwerminerale der fS- bzw. gU-Fraktion wurden nach Abtrennen in Bromoform unter dem Mikroskop ausgezählt.

4.2.2 Ton- und Leichtminerale

Die semiquantitative Bestimmung der Ton- und Leichtminerale erfolgte röntgenographisch an Pulver- und Texturpräparaten der gemahlenen Gesamtprobe.

4.3 Die Quantifizierung von Einzelelementen

4.3.1 Vorbemerkung: Zur Zusammensetzung fluviatiler Sedimente

Nach PATCHINEELAM (1975) setzen sich fluviatile Sedimente im wesentlichen aus litho- bzw. pedogenen und hydrogenen Komponenten zusammen. Hinzu kommt ein je nach Belastungsgrad des Gewässers unterschiedlich starker anthropogener Anteil. Dies führt vor allem bei den Spurenelementen oft zu Gehalten, die den Background weit übersteigen (LITHERATHY 1978).

Die Definition des Backgrounds gestaltet sich schwierig, als oft nur wenige und lückenhafte Untersuchungen der Geochemie von Böden und Gesteinen des Untersuchungsgebietes vorliegen. Internationale Standards sind nur bedingt aussagefähig, da sie die regionalen Besonderheiten nicht berücksichtigen. Aus dem gleichen Grunde können Untersuchungen aus anderen Gebieten nur mit Vorsicht herangezogen werden.

Eine weitere Schwierigkeit bei der Festlegung des Backgrounds liegt darin, daß auch natürliche Prozesse wie Verwitterung, physikalische und chemische Fällungsreaktionen, der Abbau organischer Substanzen im Gewässer, der Eintrag von Aerosolen sowie Erosions- und Akkumulationsprozesse im Gewässerbett zu Elementan- und -abreicherungen führen können (FÖRSTNER 1978, MIHM et al. 1976, NEUMAYR 1979).

Die in der Literatur zur Definition des Backgrounds angewandten Verfahren lassen sich folgenden vier Gruppen zuordnen:

1. Vergleiche mit internationalen geochemischen Standards (z.B. ABO-RADY 1977, BANAT et al. 1972 s, BARTELT u. FÖRSTNER 1977, LITHERATHY 1978, MEISCH et al. 1978),
2. Vergleiche mit "unverschmutzten" Böden und Sedimenten (z.B. HELLMANN u. GRIFFATONG 1972, LICHTFUSS u. BRÜMMER 1979, MÜLLER 1977, WINKLER 1978),
3. selektive Aufschlußverfahren (z.B. NEUMAYR 1979, PATCHINEELAM 1975) und

4. statistische Verfahren (z.B. FÖRSTNER 1978, LICHTFUSS u. BRÜMMER 1977).

Im Rahmen der vorliegenden Untersuchung soll mittels aller o.g. Verfahren definiert werden.

4.3.2 Einzelelementanalyse

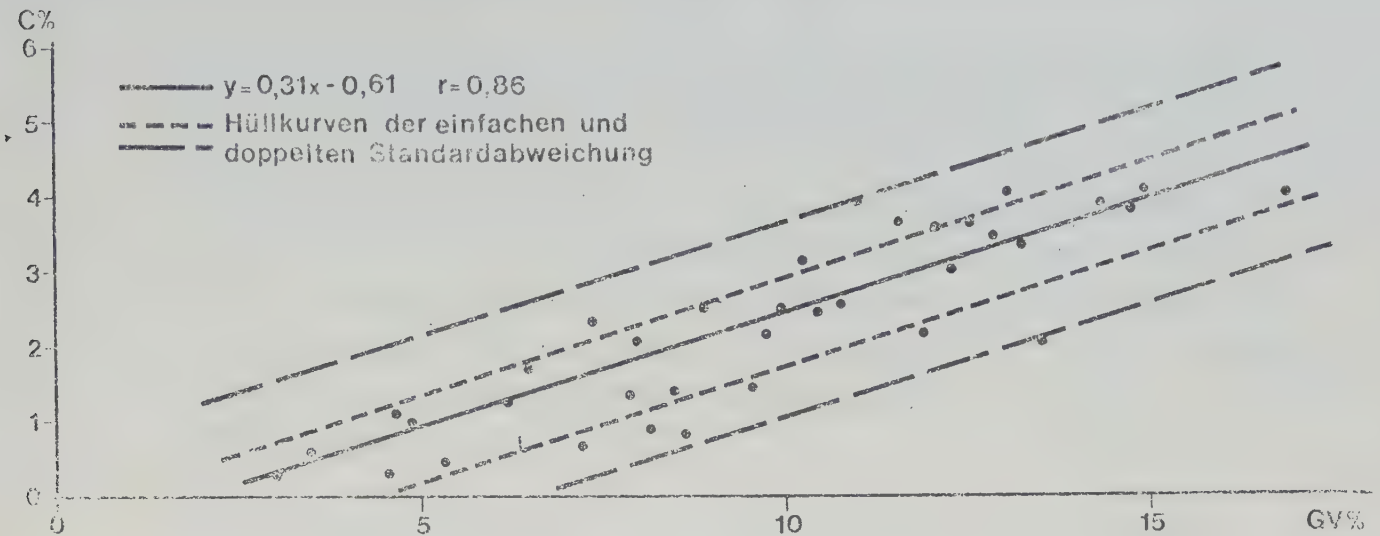
4.3.2.1 Gesamtgehalte mittels Röntgenfluoreszenzanalyse

An 80 repräsentativen Proben wurde von Herrn Dr. Johanning, dem ich an dieser Stelle herzlich danken möchte, mittels Röntgenfluoreszenzanalyse (RFA) am Pulverpräparat die Gesamtgehalte von Ba, Cu, Cr, Fe, Mn, Nb, Ni, Rb, Sr, Ti und Y bestimmt. Im Gegensatz zu anderen Autoren (Bundesanst. f. Gewässerkunde 1977, GRIFFATONG u. HELLMANN 1973, HELLMANN 1971, LICHTFUSS u. BRÜMMER 1974) war es jedoch nicht möglich, auch Cd, Co und Pb quantitativ zu erfassen. Dies lag bei Cd und Pb an der zu geringen Anregung dieser Elemente durch die verwendete Wolframröhre. Bei Co wurde eine quantitative Bestimmung durch die hohen Fe-Gehalte unmöglich gemacht.

4.3.2.2 Gesamtphosphor und organischer Kohlenstoff

Der Gesamtphosphor wurde nach KURMIES (1972), der Gehalt an organischem Kohlenstoff durch den Glühverlust (550°C) bestimmt. Da beim Glühen jedoch nicht nur die organische Substanz zerstört wird, sondern Tonen und Sesquioxiden auch Kristallwasser entzogen wird (SCHLICHTING u. BLUME 1966), wurde bei 40 Proben der Gehalt an organischem C zusätzlich durch nasse Veraschung nach RIHM u. ULRICH (1954) bestimmt. Die Abb.4 zeigt die gute Korrelation zwischen beiden Verfahren. Mit dem Durchschnittsgehalt von 31% organischem C am Glühverlust liegen die untersuchten Sedimente im unteren Bereich der von UNGEMACH (zit. n. ROHDE 1970) für hydro-morphe Sedimente ermittelten Bandbreite von 30 - 50%.

Abb.:4 Korrelation zwischen Glühverlust und organischem C-Gehalt



4.3.3 Bestimmung der nicht silicatmineralgebundenen Elemente

4.3.3.1 Aufschlußverfahren

Da mit der RFA Cd, Co und Pb nicht quantitativ bestimmt werden konnten, mußte naßchemisch aufgeschlossen werden. Ein Totalaufschluß war wegen unzureichender labortechnischer Voraussetzungen nicht möglich. So wurden die 215 Proben mit Königswasser ($\text{HCL}:\text{HNO}_3=3:1$) und mit einem Schwefelsäure-Perchlorsäure-Salpetersäure-Gemisch (5:1:1) aufgeschlossen. Damit werden alle Bindungsformen mit Ausnahme der Silicatbindung erfaßt. Beide Aufschlüsse ergaben bei allen Elementen identische und gut reproduzierbare Ergebnisse. Ausgenommen hiervon sind Blei, das in Gegenwart von H_2SO_4 als PbSO_4 ausgefällt wird (KOCH u. KOCH-DEDIC 1974) und Phosphor, der vom Königswasseraufschluß nicht ganz erfaßt wird.

4.3.3.2 Atomabsorptionsspektroskopische Analyse

Mittels Atomabsorptionsspektroskopie (AAS; Gerät: Perkin Elmer 380 mit Untergrundkompensation) wurden aus der Flamme (Azetylen/Luft) Na, K, Ca und Mg sowie die Schwermetalle Cd, Co, Cu, Cr, Fe, Mn, Ni, Pb und Zn bestimmt. Die Arbeits-

parameter richteten sich im wesentlichen nach den Angaben des Bedienungshandbuches der Herstellerfirma. Zur Beseitigung von Interferenzen wurde den Standard- und Blindlösungen ein Äquivalent der Säuremischung sowie anteilmäßig die übrigen im Aufschluß befindlichen Ionen zugesetzt. Zusätzliche Störungen wurden bei der Bestimmung von Ca und Mg durch Hinzufügen von Lanthan, bei Na und K durch Zugabe von Cäsium zur Meßlösung beseitigt (ALLEN et al. 1974, FASSBENDER u. AHRENS 1977)..

4.3.3.3 Photometrische und titrimetrische Bestimmungen

Zur Überprüfung der mit der AAS gewonnenen Werte wurden photometrisch (Gerät: ZEISS M4Q) Co mit Nitroso-R-Salz, Cu mit Oxalsäurebis (FRIES u. GETROST 1977), Fe mit 1.1 Phenanthrolin (Fachgruppe Wasserchemie 1979), Mn als Permanganat und Ni mit Dimethylglyoxim (ZIMMERMANN 1974) sowie mittels komplexometrischer Titration Ca mit Calconcarbonsäure und Mg mit Indikatorpuffertablette und Ammoniak (FRIES u. GETROST 1977) bestimmt.

4.3.4 Analysenmethodenvergleich

Durch den Einsatz von RFA, AAS und Photometrie ergab sich die Möglichkeit, neben einer Aufteilung der untersuchten Elemente in Gesamtgehalt und remobilisierbare Anteile, die vor allem bei der Spurenanalytik oft problematische Genauigkeit und Reproduzierbarkeit der einzelnen Methoden miteinander zu vergleichen (Bundesamt f. Gewässerkd. 1977, FUKAI 1978).. Außerdem konnte auf eine Überprüfung der Analysengenauigkeit mittels Standard (vgl. ABO-RADY 1977) verzichtet werden.

Die Ergebnisse der einzelnen Methoden sind exemplarisch für die Elemente Fe, Cr und Zn in Abb.5 einander gegenübergestellt (Anzahl der Wertepaare = 80). Danach ergibt sich im Vergleich der einzelnen Methoden für alle Elemente eine gute Korrelation bei

Abb.:5 Analysenmethodenvergleich

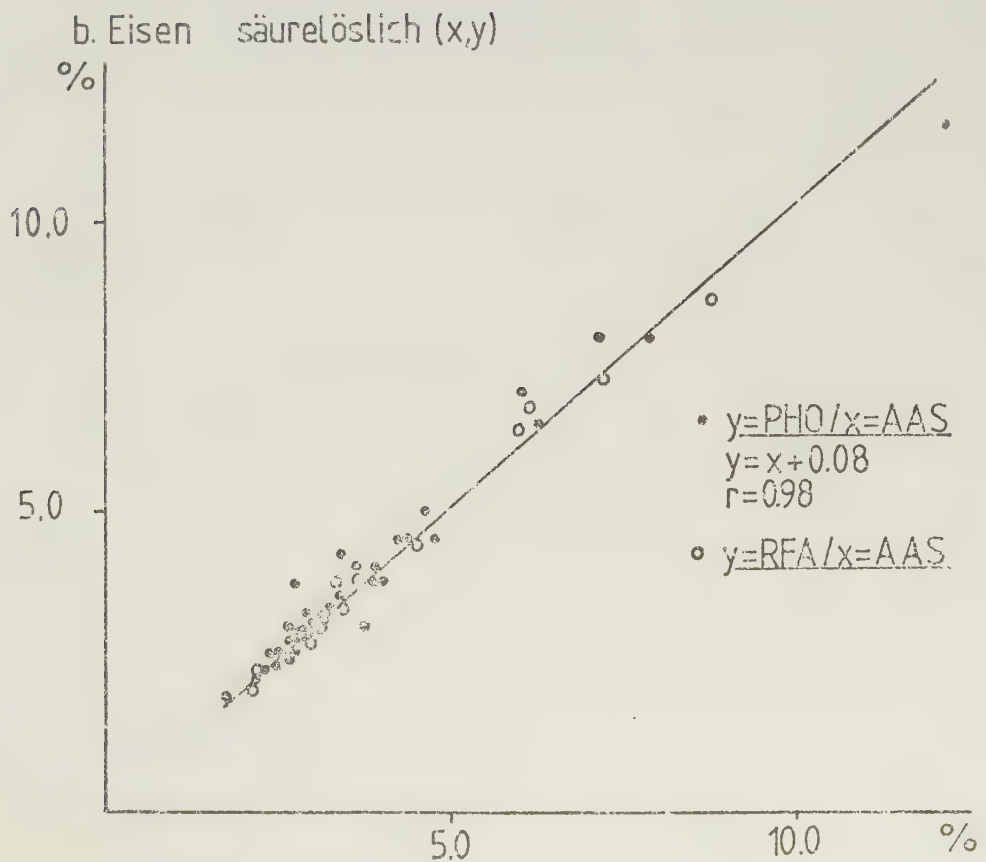
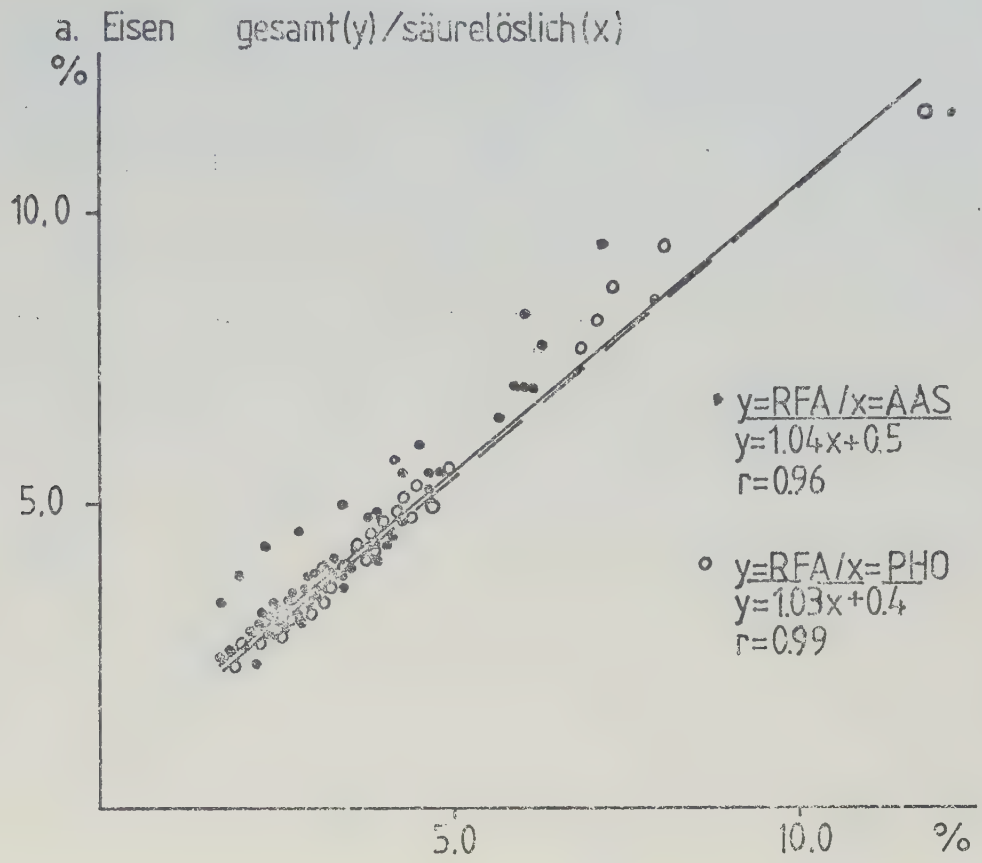
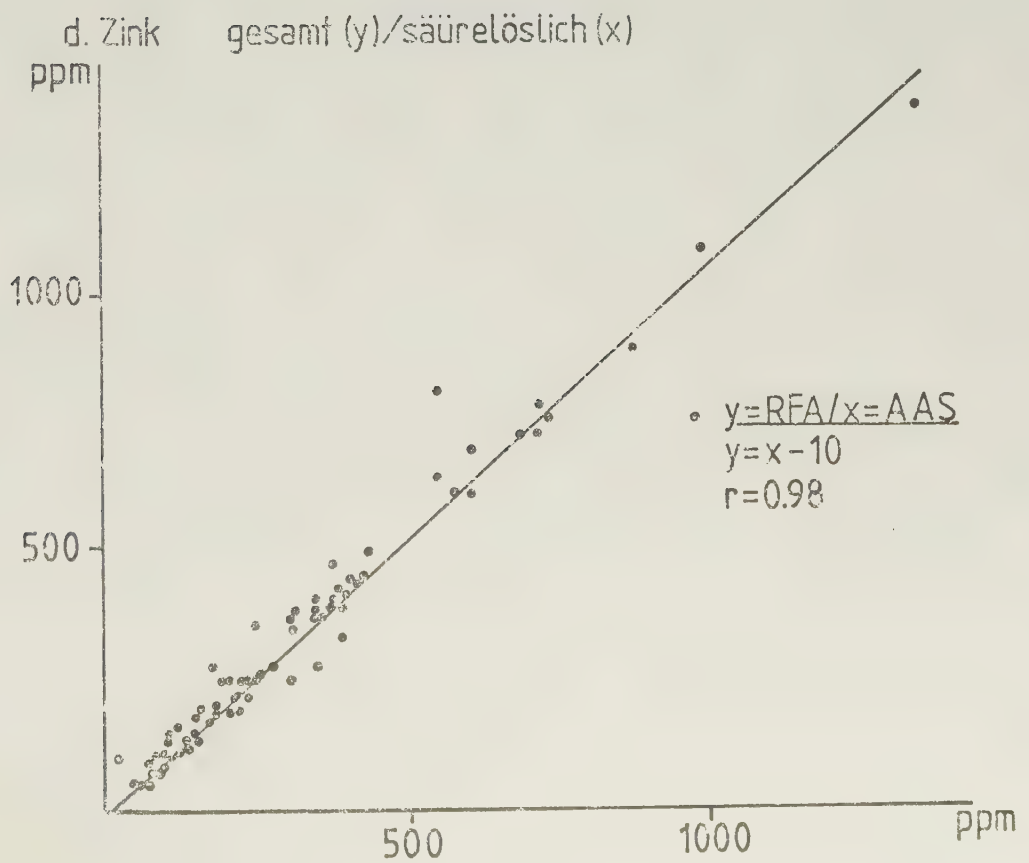
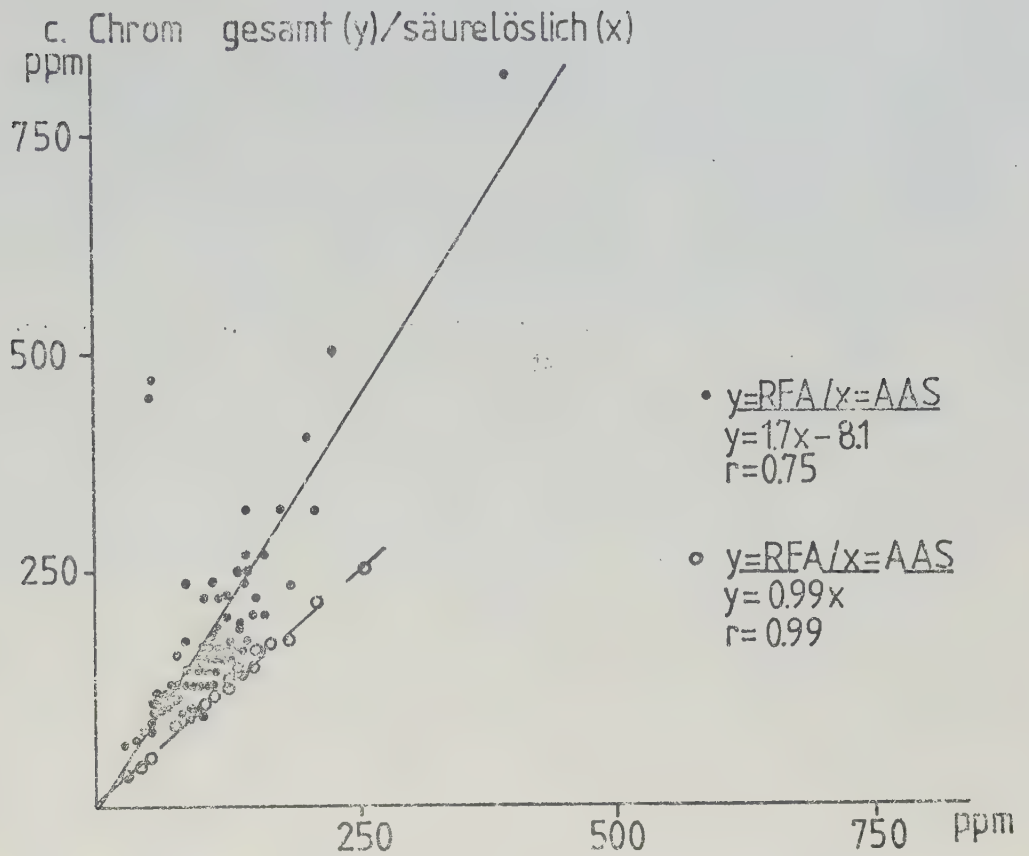


Abb.5 Analysenmethodenvergleich



hoher Signifikanz. Dies ist umso bemerkenswerter, als zu berücksichtigen ist, daß mit der RFA kleine Mengen schwer zu quantifizieren sind, während bei der AAS oft mit hohen Verdünnungen bzw. mit kleinen Einwaagen gearbeitet werden muß, was zu beträchtlicher Ungenauigkeit führen kann.

Bringt man zudem bei den RFA-Werten noch die säure-unlöslichen Gehalte in Abzug (Abb. 5 b u. c), so wird die Übereinstimmung mit AAS- und Photometer-Werten noch besser. Dieser Abzug ist vor allem bei Cr, Cu und Ni notwendig, wo die säureunlöslichen Gehalte zwischen 3% und 55% der Gesamtgehalte betragen (vgl. PATCHINEELAM 1975). Damit sind die starke Streuung der Chromwerte in Abb.5 und der daraus resultierende niedrige Korrelationskoeffizient beim Vergleich Gesamtgehalte/säurelösliche Gehalte erklärt. Bei Pb und Zn treten solche Differenzen nicht auf, da diese Metalle fast vollständig in Lösung gehen. Für Fe und Mn ist die Korrelation von Gesamtgehalten mit säurelöslichen Gehalten gut, weil bei diesen Metallen die Amplitude der säurelöslichen Anteile nur mit wenigen Ausnahmen 10% übersteigt.

Ein eindeutiger Zusammenhang zwischen Korngrößenverteilung und Säurelöslichkeit der untersuchten Metalle kann nicht hergestellt werden. Zwar nimmt gewöhnlich die Löslichkeit mit steigendem Sandgehalt der Proben ab (Korrelationskoeffizient r beträgt für Cu 0.83, für Ni 0.78, für Cr 0.64, für Mn 0.51 und für Fe 0.42), eine wichtige Rolle bei der Säureresistenz spielt jedoch auch der Verwitterungszustand der Minerale. So sind beispielsweise in den säureunlöslichen Rückständen die Augite als Hauptlieferanten des geogenen Cr (FRÖHLICH 1960) noch frisch. Auch die Hornblenden werden nur dann gelöst, wenn sie primär schon stark ausgewittert sind, während Olivin vollständig in Lösung geht.

5. Gesteine und Böden des Niddagebietes - der litho- und pedogene Background

5.1 Petrographie der Gesteine

Die Gesteine des Niddaeinzugsgebietes lassen sich petrographisch in folgende Gruppen gliedern:

1. Quarzreiche, feldspatarme Gesteine. Hierzu zählen die Quarzite und Sandsteine des Taunus, deren korrelate Sedimente in der Wetterau (BIBUS 1975) sowie die Sandsteine des Büdinger Waldes (HEIM 1966).
2. Die devonischen Schiefer des Taunus mit durchschnittlichen Anteilen von 30% Quarz, 43% Muskovit und 23% Chlorit (ECKHARDT 1960). Bei den Tonmineralen dominiert der Illit.
3. Die fast quarzfreien magmatischen Gesteine des Vogelsberges mit 20-50% Plagioklas als Hauptbestandteil der Grundmasse. Es folgen Augit mit 25-40%, Olivin mit 1-7% und Magnetit mit ca. 3% (EHRENBERG u. HICKETHIER 1978). Dominantes Tonmineral ist Montmorillonit.
4. Der Löß, der auf Grund stark vertretener Lokalkomponenten eine unterschiedliche petrographische Zusammensetzung aufweist (ERFFA 1970, POETSCH 1975). Dies wird vor allem auch, wie Tab. 1 zeigt, bei den Schwermineralen deutlich. Als Anhaltspunkt für die petrographische Zusammensetzung können die von SCHEFFER u. SCHACHTSCHABEL (1976 : 9) für mitteldeutsche Lössse angegebenen Werte von 10-15% Kalkspat, 40-45% Quarz, 15-20% Alkalifeldspat, 10% Glimmer und 10% Tonmineralen bei Illitdominanz gelten.

Einen Überblick über die wichtigsten Schwermineralassoziationen gibt Tab. 1. Bei der Aufstellung sind nur die Hauptanteile erfaßt.

Tab.1 Durchschnittliche Schwermineralassoziation einiger Gesteine des Niddagebietes

Geol. Abt. bzw. Stufe	Gestein	Schwer- mine- ral- anteil %	Au- git	Br. Horn- bl.	Oli- vin	Tita- nit %	Ru- til	Tur- ma- lin	Zir- kon	Autor
DEVON	Quar- zit						16	21	63	PRASHNOWSKI (1957)
	Schie- fer						15	20	65	PRASHNOWSKI (1957)
	Grau- wacke	0.1				0-2		90		ERFFA (1970)
ROTLIE- GENDES	Sand- Tonst.							100		FABER (1975)
BUNT- SANDST.	Sand- stein	0.1-1					10	20	70	SINDOWSKI (1957) HEIM (1966)
TERTIÄR	Sand, Ton	1					7	59	34	ERFFA (1970)
	Ba- salt, Tuff	<15	91	3	7	2			2	WIRTZ (1972)
QUARTÄR	Löß	> 0.1	14- 19						30- 53	WIRTZ (1972)
	Löß		60- 65	3-25				5		BOENIGK et al. (1977)
	Laa- cher Bims- tuff	1-32	49- 66	30-40		2-7				ERFFA (1970)

5.2 Chemismus der wichtigsten Gesteine und Böden

5.2.1 Haupt- und Nebenelemente

In Tab. 2 sind Mediane und Standardabweichungen der Haupt- und Nebenelemente von Gesteinen und Böden aufgelistet. Die der Berechnung zugrunde liegenden Daten sind aus 28 Arbeiten aus dem Untersuchungsgebiet und benachbarten Räumen entnommen. Alle Arbeiten sind im Literaturverzeichnis aufgeführt. Da für einige Gesteine und vor allem für die Böden nur wenige Untersuchungen vorliegen, sind die Angaben nur als Richtwerte zu betrachten. Auf das Hinzuziehen internationaler Standards (z.B. WEDEPOHL 1969) wurde bewußt verzichtet, da vor allem bei den Sedimentiten große Amplituden auf Grund von Unterschieden von Ablagerungsart und Liefergebiet auftreten können (vgl. KIESER 1969, SCHLICHTING 1979). Dies dokumentieren auch die Standardabweichungen in Tab. 2.

Der Chemismus der in Tab. 2 dargestellten Gesteine und Böden bestätigt die im vorherigen Kapitel vorgenommene regionale Gliederung des Arbeitsgebietes. Danch stehen den Gebieten mit kieselsäurearmen aber aluminium- und erdalkalireichen Basalten die an letztgenannten Elementen verarmten, jedoch kiesel-säurereichen Quarzit- und Sandsteinregionen gegenüber. Eine Mittelstellung nehmen die Bereiche ein, in denen Grauwacke, Tonschiefer und Löß die vorherrschenden Gesteine sind.

Die nur geringen Unterschiede zwischen Boden und anstehendem Gestein, die unter Berücksichtigung des Umstandes, daß das bodenbildende Substrat neben anstehendem Gestein meist noch eine beträchtliche äolische Komponente aufweist (s. Kap. 3.2), noch geringer ausfallen dürften, zeigen, daß Stoffumwandlung gegenüber Auswaschung und Anreicherung dominiert. Lediglich bei den reliktschen Rotlehmen, die jedoch vergleichsweise nur sehr kleine Areale einnehmen, ist eine deutliche Kiesel-säure-, Alkali- und Erdalkaliabnahme verbunden mit einer Sesquioxidzunahme festzustellen.

Das Vorkommen der Elemente soll in groben Zügen am Beispiel von Eisen und Mangan aufgezeigt werden. In den Magmatiten liegen beide Elemente überwiegend als Fe^{2+} und Mn^{2+} im

Tab.2 Haupt- und Nebenelementgehalte von Gesteinen
und Böden des Niddagebietes.
Mediane und Standardabweichungen in %

Gestein/Boden	Proben- anzahl	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅
Taunusquarzit	9	92.7 2.9	0.2 0.8	2.7 2.9	0.8 0.4	0.0	0.5 0.0	0.2 0.0	0.3 0.0	0.6 0.2	0.0 0.3
Tonschiefer	29	59.6 4.4	0.9 0.1	20.3 3.6	7.7 2.8	0.0	2.3 0.5	0.7 0.7	0.9 0.26	3.4 0.4	0.1 0.0
Grauwacke	4	70.0 5.7	7.1 9.6	8.9 2.1	7.0 5.1		1.9 1.3	0.1 0.1	1.4 0.3	1.7 0.6	0.2 0.0
Sandstein	27	78.7 6.2	0.2 0.0	9.7 2.8	1.5 1.4	0.0	0.9 0.9	0.6 0.8	0.2 0.4	2.6 0.6	0.3 0.0
Basalt	155	45.3 3.9	2.5 1.1	13.7 1.5	10.7 1.4	0.2 0.0	10.0 2.7	10.0 1.6	2.8 0.7	1.3 0.4	0.5 0.0
Löß	4	65.2 1.0		9.5 0.3	3.9 0.0	0.0	1.3 0.0	7.5 0.7	1.5 0.0	1.9 0.5	0.1 0.0
Braunerde aus Tonschiefer	7	67.1 5.0	0.9	12.7 2.5	5.7 1.8		1.0	1.3	1.0	2.0	
Rotlehm aus Tonschiefer	2	51.0 3.7	1.2 0.0	21.6 0.2	10.4 0.0		0.9 0.1	2.6 2.3	1.1 0.0	2.9 0.0	0.2 0.0
Braunerde aus Basalt	2	42.7 0.8	0.7 0.0	14.1 0.0	11.3 1.7	0.1 0.0	7.6 1.6	5.4 0.0	0.8 0.0	1.4 0.0	0.5 0.0
Rotlehm aus Basalt	44	37.0 14.5	4.2 2.2	24.0 5.1	21.1 7.5	0.2 0.0	0.8 0.2	0.3 0.2	0.3 0.2	0.3 0.1	0.8 0.0
Parabraunerde aus Löß	8	72.1 0.2		12.5 1.1	4.3 0.5		0.8 0.0	0.6 0.0	1.1 0.0	2.2 0.0	0.2 0.0

Kristallgitter der Silicate vor. Minerale sind nur von untergeordneter Bedeutung. Bei aerober Verwitterung werden die Metalle im Kristallgitter zu Fe^{3+} , Mn^{3+} oder Mn^{4+} oxidiert. Das Gitter wird instabil, als Endprodukte entstehen in der Hauptsache Fe(III) - und Mn(III,IV) -oxide (SCHEFFER u. SCHACHTSCHABEL 1976 : 14f.). Für Mangan entfallen nach BEER (1966) auf diese Fraktion im Boden 50-75% des Gesamt-mangan. Der Rest liegt in unverwitterten Silicaten und Karbonaten, adsorbiert an Fe(III) -oxide, als metallorganische Komplexe (Chelate) und in Gelen vor.

5.2.2 Spurenmetalle in Gesteinen und Böden

Die Spurenelementgehalte von Böden und Gesteinen weisen i.d.R. große Bandbreiten auf. Erschwerend bei der Festlegung durchschnittlicher Spurenelementgehalte wirkt sich zudem aus, daß

1. aus dem Niddagebiet keine Untersuchungen vorliegen und
2. für Böden nur Werte unkontaminierter Standorte verwendet werden können.

Aus diesen Gründen sind in Tab.3 drei Wertegruppen einander gegenübergestellt und zwar:

- a. internationale Standards,
- b. mittlere Minima und Maxima vergleichbarer Böden und Gesteine aus der Literatur und
- c. Eigenanalysen. Diese beschränkten sich in erster Linie auf Aueböden, da diese als Endprodukte von Bodenerosion und Gewässersedimentation die unterschiedlichen Gebietskomponenten in sich vereinigen und somit eine Art Mittelwert darstellen. Wegen des verwendeten Säureaufschlusses ist jedoch nur eine relative Vergleichbarkeit mit den Werten der Gruppen a und b zulässig (vgl. Kap. 4.3.4)..

Generell sind die aufgeführten Elementgehalte nur bedingt untereinander vergleichbar, da weder national noch international genormte Aufschluß- und Extraktionsmethoden angewandt werden und auf die Endbestimmung in den Extrakten unterschiedlich ausgeführt wird (vgl. Bundesanstalt f. Gewässerkunde 1977, FUKAI 1978, MATTHES 1972).

Tab.3 Durchschnittsgehalte, Bandbreiten und Eigenanalysen von Schwermetallen (ppm)
in Gesteinen und Böden

Gestein/Boden	Mn	Ni	Cu	Co	Cr	Pb	Zn	Cd
Quarzit a b	200	2	10-50	4	60-150	2	24 55	
Tonschiefer a b c	850 300 3500	68 95 55	45 57 8	19 22	90 82-102 51	20 15-27	95 138 110	0.3 0
Grauwacke a b c	360	13	34 5	10	40 22-43 13	15	61	0
Sandstein a b	390 100-840	2	15 19	0.3 1	35 20	7 1-52	15 2-18	0.02
Basalt a b c	1700 1800 600	145 140 240	90 35-65 42	45 51 33	180 35-418 136	7 12 15	120 70-158 50	0.2 0
Löß b	360-890		14-29	4-13	50			
Braunerde a aus Sandst. b	230-1270		17 1-28	7 1-9		11-15	95	0
Braunerde a aus Schiefer b	1800		41 19-58	13 14-47			135	
Parabraunerde aus Löß b	360-1300		8-28	3-13			19-85	
Braunerde a aus Basalt b		140-170	21 35-46	38 21-80		20	150 70-250	0.1
Podsol aus Quarzit b	12-200		14	2-7			50-66	

Tab.3 Fortsetzung

Gestein/Boden	Mn	Ni	Cu	Co	Cr	Pb	Zn	Cd
Podsol aus Sandstein b	600-665		33-35	5			80-148	
Aueböden Taunus 3 Proben c d e	270 190-1220	34 25-50	18 14-31	15 12-18	64 59-65	22 22-30	70 60-80	0
Aueböden Vogelsberg 9 Proben c d e	1350 850-1890	165 72-215	33 16-56	45 25-63	154 100-233	28 7-126	110 70-130	0
Aueböden Wetterau 13 Proben c d e	860 510-1080	96 30-130	36 14-71	24 14-31	115 79-138	45 37-600	150 50-330	0 0-0.5

- a. internationale Durchschnittsgehalte gemittelt nach (FRÖHLICH 1960, RÖSSLER u. LANGE 1976, SCHEFFER u. SCHACHTSCHABEL 1976, WEDEPOHL 1953, 1956, 1963, 1969)
- b. durchschnittl. Min. u. Max. vergleichbarer Standorte aus Mitteleuropa (GRIMME 1967, JUNGERMANN 1960, KICK et al. 1980, KIESER 1969, MATTHES 1972, SCHLICHTING 1962, 1979, SCHLICHTING u. ELGALA 1975, THOMAS 1968).

- c. Eigenanalyse
- d. Median der Eigenanalyse
- e. Min. u. Max. der Eigenanalyse

Bei den Gesteinen weisen die Basalte bei beinahe allen Elementen die höchsten Schwermetallgehalte auf. Ausgenommen hiervon ist Blei, das in Tonschiefern am höchsten konzentriert ist. Die übrigen untersuchten Schwermetalle erreichen im Tonschiefer höchstens 50% der Basaltwerte. Grauwacke und löß weisen nur geringe Schwermetallgehalte auf. Fast spurenelementfrei - mit Ausnahme von Chrom und Zink, die in geringen Mengen enthalten sind,- sind Sandsteine und Quarzite.

In Bezug auf die rezenten Böden zeigt die Aufstellung, daß ihre Schwermetallgehalte von denen der im Untergrund anstehenden Gesteine bestimmt werden (KIESER 1969, SCHLICHTING 1979).

Metallanreicherungen in Mineralböden sind im Untersuchungsgebiet lediglich für die Elemente Blei und geringfügiger für Zink in den analysierten Aueböden aus den Bereichen Vogelsberg, Taunus und Wetterau festzustellen. Dabei weisen im Taunus und im Vogelsberg die Waldstandorte und die nur extensiv landwirtschaftlich genutzten Flächen gleiche oder im Verhältnis zum Ausgangsgestein nur geringfügig erhöhte Bleigehalte auf. Letztere dürften auf atmosphärischen Eintrag zurückgeführt werden können (FÖRSTNER 1973, MATTHES 1972). Lediglich im unmittelbaren Bereich von Straßen treten in diesen Gebieten hohe Bleiwerte auf (bis zu 126 ppm) (vgl. a. ROLF u. JENNET in KRENKEL 1975)..

Gegenüber den Gesteinswerten stark erhöhte Pb-Gehalte (Durchschnitt 45 ppm, Maximum 600 ppm) weisen die Aueböden der Wetterau auf. Diese Befunde korrespondieren exakt mit den von SCHARPENSEEL u. BECKMANN (1975) im rheinisch-westfälischen Industriegebiet gewonnenen Ergebnissen. Im Gefolge der hohen Bleigehalte sind hier wie dort auch die Cr, Cu und Zn-Gehalte

geringfügig erhöht, was o.g. Autoren auf eine gemeinsame Zufuhr schließen läßt. Als Schadstoffquellen kommen in erster Linie Pb-haltige Stäube aus Abgasen sowie die Verwendung schwermetallhaltiger Düngemitteln, Aschen und Klärschlämme in der Landwirtschaft in Betracht (MATTHES 1972, SCHEFFER u. SCHACHTSCHABEL 1976).

5.3 Gebiete gleichen Schwermetallbackgrounds

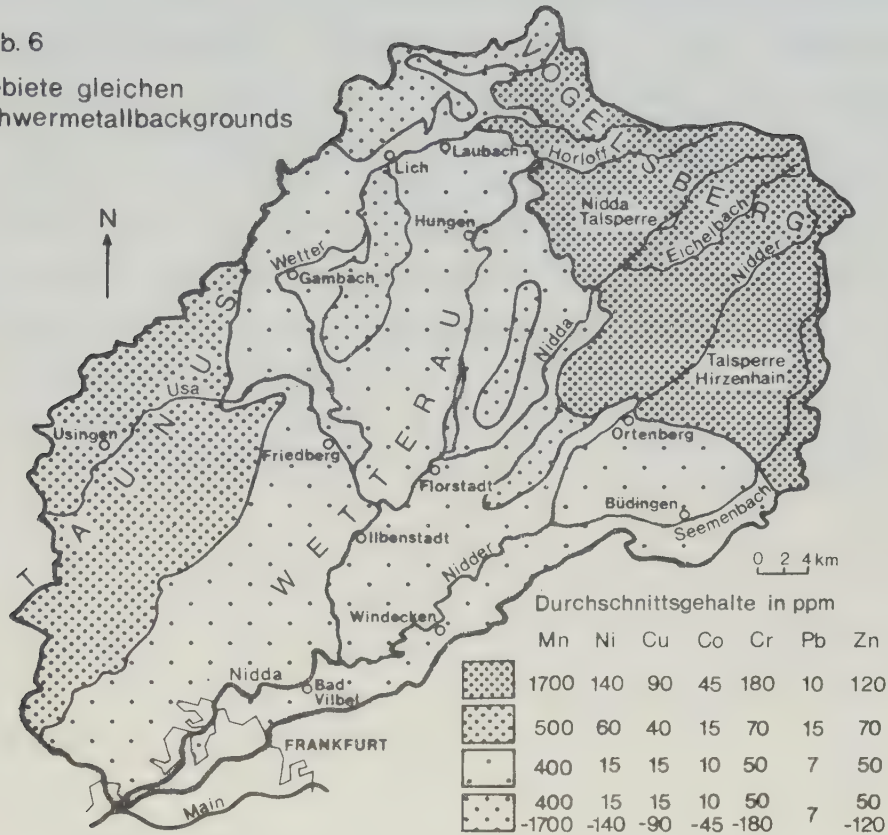
Als Folge der oben beschriebenen Datensituation hinsichtlich der Schwermetallgehalte in Böden und Gesteinen läßt sich das Niddagebiet in vier Zonen etwa gleicher natürlicher Schwermetallkonzentrationen einteilen. Die in Abb.6 angegebenen Durchschnittsgehalte der Bereiche Vogelsberg, Taunus und Wetterau sind als Mediane aus den in Tab. 3 unter a, b und c aufgeführten Werten gebildet worden. Die letzte Zone ist als Übergangsbereich zwischen Vogelsberg und Wetterau durch Angabe der Werte der sie begrenzenden Bereiche dargestellt.

Die Abb.6 grenzt folgende Gebiete gegeneinander ab:

1. Den Vogelsberg, in dem die Basalte ihre größte Verbreitung haben. Hier sind, mit Ausnahme von Blei, die höchsten Metallgehalte anzutreffen.
2. Den Taunus. Hier liegen mit Quarziten, Grauwacken und Tonschiefer Gesteine recht unterschiedlichen Schwermetallgehalts vor. Die Durchschnittsgehalte für dieses Gebiet wurden nach dem prozentualen Vorkommen der einzelnen Gesteine sowie nach ihrer regionalen Verteilung berechnet. Danach erlangt die Tonschieferkomponente Dominanz über die Grauwacken- und Quarzitanteile.

Abb. 6

Gebiete gleichen
Schwermetallbackgrounds



3. Wetterau und Büdinger Wald. Löß und Sandsteine haben, wie aus Tab.3 ersichtlich, recht geringe Schwermetallgehalte, so daß beide Gesteinstypen hier zusammengefaßt werden können. Dies ist m.E. auch dadurch gerechtfertigt, daß im Bundsandsteingebiet durch die Wechselagerung von Ton- und Sandsteinen insgesamt gesehen mit im Verhältnis zum Sandstein erhöhten Gebietsschwermetallgehalten zu rechnen ist. Andererseits werden auch die

Wetteraulösse infolge ihrer Schwermetallreichen Lokalkomponenten aus den Basaltgebieten erhöhte Backgroundwerte aufweisen.

4. Wo im Gebiet der Wetterau größere Basaltkomplexe in Oberflächennähe gelangen, ist mit einem zusätzlich erhöhten Background zu rechnen. Wegen der unterschiedlichen Mächtigkeiten der Deckschichten ist es nicht möglich, Durchschnittsgehalte für diese Gebiete anzugeben. Die Werte dürften bei geringer Lößbedeckung beinahe die des reinen Basalts erreichen, während bei mächtiger Lößbedeckung gegenüber reinen Lössen nur geringfügig erhöhte Werte auftreten dürften. Hohe natürliche Schwermetallgehalte sind in den Bereichen von Erzlagerstätten (vgl. Kap. 3.3) anzutreffen.

6. Mineralogie, Haupt- und Nebenelementgehalte und natürlicher Schwermetallgehalt der untersuchten Sedimente

6.1 Kriterien zur Beurteilung des Schwermetallbackgrounds fluviatiler Sedimente

Für die Beurteilung der natürlichen Schwermetallgehalte fluviatiler Sedimente geben die Gehalte in Böden und Gesteinen des Einzugsgebietes erste Richtwerte. Inwieweit diese für die Flußsedimente zutreffen, hängt hauptsächlich von folgenden Kriterien ab:

1. Unterschiede in der mineralogischen Zusammensetzung der fluviatilen Sedimente als Folge der Transportbedingungen im Gewässer. So spiegeln z.B. Seesedimente aufgrund der Tatsache, daß hier alle Kornfraktionen zur Ablagerung gelangen, die mineralogischen und geochemischen Verhältnisse der jeweiligen Liefergebiete im allgemeinen gut wieder (FÖRSTNER 1973, MICHLER et al. 1980). In Fließgewässern finden dagegen, durch die Strömungsverhältnisse bedingt, Selektionen auch im Mineralbereich statt, was wiederum Auswirkungen auf den natürlichen Schwermetallgehalt hat. So führt eine relative Schwermineralzunahme in den Sedimenten, bedingt durch den Abtransport von Komponenten mit niedrigerem spezifischen Gewicht zu Metallanreicherungen, da die Schwerminerale Hauptträger der Spurenmetalle sind (vgl. Kap. 6.4.1). Einen gegenteiligen Effekt bewirkt die relative Anreicherung von Quarz, Feldspäten und Karbonaten (FÖRSTNER u. WITTMANN 1979).
2. Eine Folge unterschiedlicher hydraulischer Bedingungen im Fließgewässer sind die differierenden Korngrößenzusammensetzungen der Sedimente. Da sich die durch Verwitterung oder Lösung freigesetzten Schwermetalle bevorzugt in den feinen Fraktionen anreichern (vgl. Kap. 6.4.1 u. FÖRSTNER 1978), ist in feinkörnigen Sedimenten mit einem höheren Schwermetallbackground zu rechnen.

3. Die Bindung von durch Verwitterung und Lösung freigesetzten Schwermetallen an organische Wasserinhaltsstoffe sowie die Bindung an Fe-Mn-Oxydhydrate kann in den Sedimenten zu natürlichen Schwermetallanreicherungen, d.h. zu einer z.T. bedeutenden Erhöhung des Backgrounds führen.

Inwieweit die o.g. Kriterien zu Veränderungen des Schwermetallbackgrounds der Flußsedimente im Vergleich zu dem der Gesteine und Böden des Einzugsgebietes führen, ist Gegenstand der folgenden Abschnitte.

6.2 Die mineralogische Zusammensetzung der Flußsedimente

6.2.1 Schwerminerale

Nach ERFFA (1970) spiegeln sich im Schwermineralspektrum von Flußablagerungen die Gesteine des Einzugsgebietes wider. Das ermöglicht Aussagen über den Anteil der einzelnen Gesteine an den Sedimenten und die Transportweite der verschiedenen Komponenten (BLATT 1978). Außerdem läßt sich ein Einzugsgebiet in mehrere Teilbereiche gliedern. Voraussetzung hierfür ist jedoch, daß sich die Schwermineralassoziationen der einzelnen voneinander zu trennenden Bereiche signifikant unterscheiden. Dies ist im Niddagebiet der Fall, in dem vulkanischen Regionen mit überwiegend leicht verwitterbaren Schwermineralen die Regionen mit devonischen und triassischen Gesteinen mit einem ausschließlich aus stabilen Komponenten bestehenden Schwermineralspektrum gegenüberstehen (s. Tab. 1). Von daher steht zu erwarten, daß eine Ausgliederung einzelner Bereiche möglich ist.

Die in Abb. 7 dargestellten Schwermineralassoziationen der untersuchten Flüsse, die exakt die von ERFFA (1970) im Gebiet der Lahn bei Gießen ermittelten Ergebnisse bestätigen, zeigen jedoch, daß eine Gliederung in einzelne Teilbereiche nicht ohne weiteres zu vollziehen ist. So weisen Nidda, Nidder, Seemenbach, Horloff und Wetter annähernd gleiche Durchschnittsgehalte mit geringen Variationsbreiten im

Abb.: 7 Durchschnittliche Schwermineralgehalte der rezenten Flußsedimente des Niddasystems

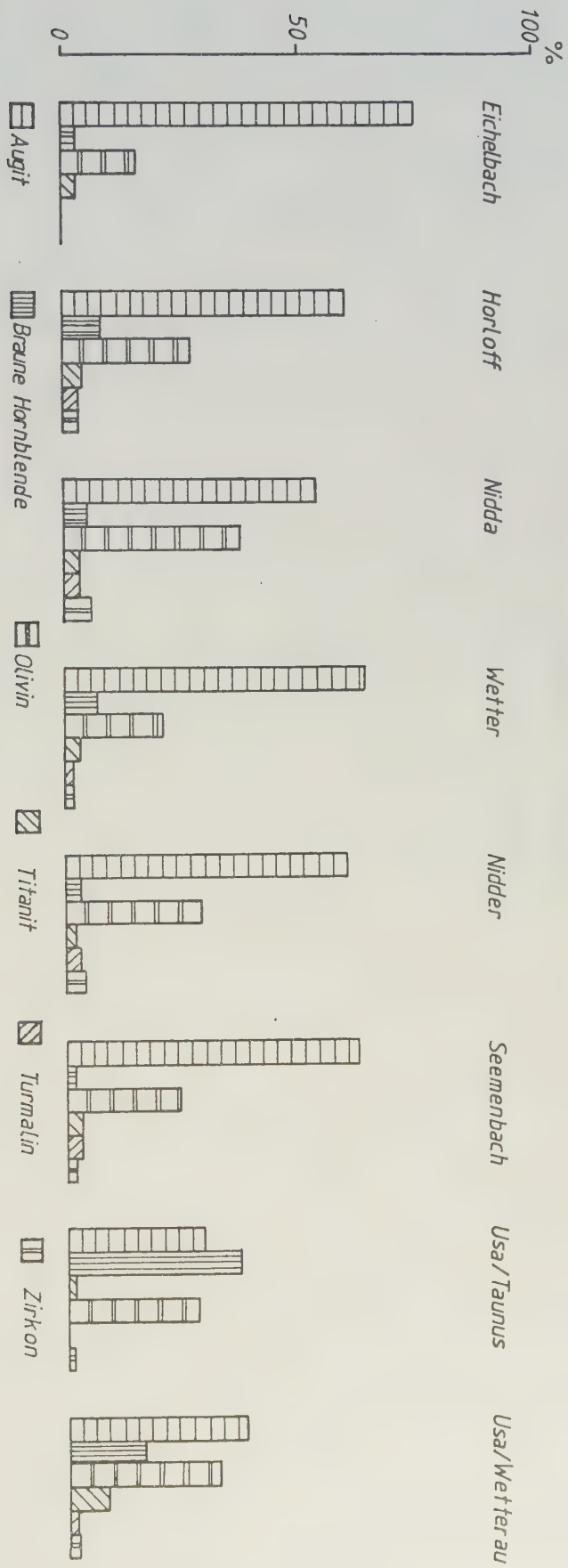
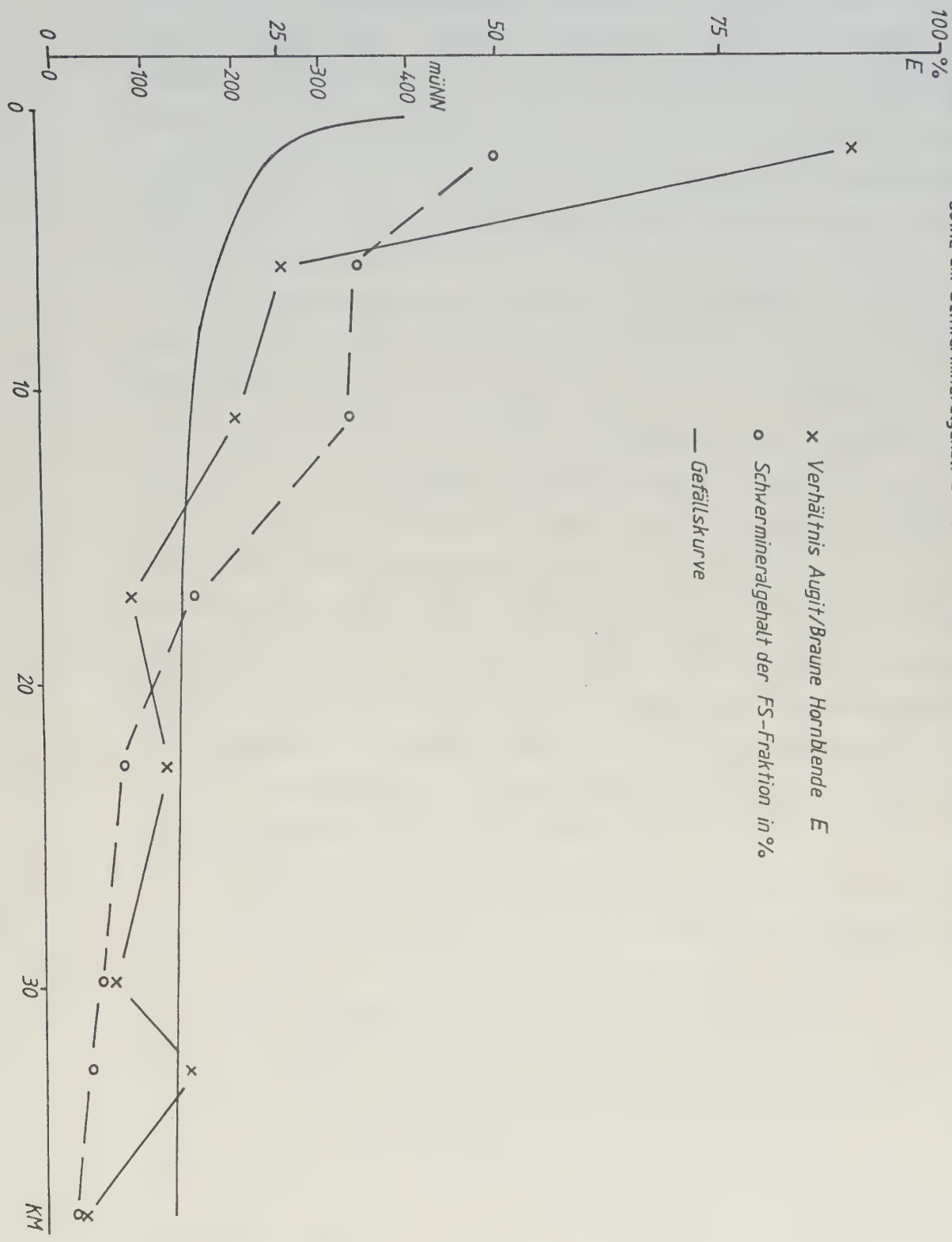


Abb. 8 Basitanteile in den Horloffsedimenten dokumentiert am Verhältnis Augit/Braune Hornblende sowie am Schwermineralgehalt der FS-Fraktion



Längsverlauf auf. Bei Dominanz der Komponenten Augit und Olivin mit zusammen 85-90%, verteilt sich der Rest auf Braune Hornblenden, Titanit sowie die stabilen Minerale Turmalin und Zirkon. Die beiden letztgenannten Komponenten fehlen völlig im ausschließlich Basaltgebiete durchfließenden Eichelbach, dessen durchschnittliches Schwermineralspektrum, wie Abb. 7 zeigt, neben sehr hohen Augitgehalten Olivin und in wenigen Prozenten Braune Hornblende und Titanit aufweist.

Auffällig ist, daß selbst die im Taunus verlaufenden Teile der Usa beträchtliche Gehalte an Augit, Brauner Hornblende, Olivin und Titanit aufweisen, obwohl nur stabile Minerale wie Rutil, Turmalin und Zirkon zu erwarten sind (vgl. Tab. 1). Ursache für das Vorkommen der vulkanischen Minerale in diesem Raum ist der Laacher Bimstuff (LBT), der als jüngstes äolisches Sediment weite Gebiete in einer Mächtigkeit von "mehreren Zentimetern" (ERFFA 1970:38) bedeckte, und der durch seine Schwermineralassoziation eine Basaltkomponente vortäuschen kann (vgl. Tab. 1). Er unterscheidet sich von den Basalten lediglich durch die hohen Anteile an Brauner Hornblende, sowie das Fehlen von Olivin. Dies eröffnet die Möglichkeit, aus den Schwermineralspektren die LBT-Komponenten über das Augit/Braune Hornblende-Verhältnis zu extrahieren. Dies liegt für den LBT zwischen 1 und 3, für Basalte liegt es bei 30.

Eine Kontrolle der Ergebnisse ist über den Vergleich der Schwermineralanteile in den untersuchten Sedimenten möglich, da sich die Schwermineralanteile der Basalte von denen der übrigen Gesteine deutlich unterscheiden (vgl. Tab. 1). Haben die nicht LBT-bürtigen Gehalte der Schwerminerale (d.H. nach Extraktion der LBT-Komponente) und die Kurve der Schwermineralanteile gleichen Verlauf, so kann das Ergebnis als gesichert gelten.

Die in Abb. 8 für die Vogelsbergflüsse exemplarisch dargestellten Verhältnisse im Verlauf der Horloff bestätigen

die von BLATT (1978) veröffentlichten Ergebnisse. Danach nimmt mit zunehmender Entfernung vom Gebirge die basaltische Komponente in den rezenten Flußsedimenten so stark ab, daß in einer Entfernung von 10-20km vom Gebirgsrand lediglich ein basaltischer Anteil von ca. 5% anzutreffen ist.

Auch bei der Usa laufen die Kurven des Schwermineralanteils und des Verhältnisses von Augit zu Brauner Hornblende parallel. Letzteres entspricht im Taunusbereich exakt dem des LBT. Mit Eintritt in die Wetterau steigt es durch den Einfluß lokaler Basaltvorkommen geringfügig an.

6.2.2 Leicht- und Tonminerale

Die Ton- und Leichtmineralkonfiguration der untersuchten Gewässer ist, wie in zahlreichen anderen Flußsystemen (vgl. BANAT 1973, HELLMANN 1970), relativ gleichförmig zusammengesetzt. Das liegt daran, daß durch die Lößbeimengung markante Unterschiede der verschiedenen Gesteinsformationen verwischt werden. Demzufolge kann die Ton- und Leichtmineralanalyse nur peripher, d.h. zur Abstützung der mit anderen Methoden gewonnenen Ergebnisse, zur Abgrenzung des Anteils einzelner Gesteine an der Zusammensetzung fluviatiler Sedimente herangezogen werden.

Bezogen auf das Niddagebiet bedeutet dies, daß neben einer Betrachtung des Verhaltens einzelner Komponenten im Längsverlauf der Flüsse lediglich das Quarz/Feldspat-Verhältnis sowie die Illitgehalte der Sedimente Rückschlüsse auf die Dominanz bestimmter Gesteine zulassen.

Mit Ausnahme der Usa, in deren Sedimenten alle untersuchten Ton- und Leichtminerale mit Ausnahme von Kaolinit eine im Verhältnis zu den übrigen Flüssen gegenläufige Tendenz aufweisen, nehmen Quarz-, Feldspat-, Illit- und Kaolinitgehalt im Längsverlauf stetig zu. Umgekehrt sinken die Gehalte an Eisenmineralen im Längsverlauf der Flüsse in den Sedimenten.

In diesem Verhalten spiegelt sich exakt der Gesteinswechsel von den quarz- und feldspatarmen, aber eisenreichen Basalten zu den Lössen wider. Etwas verwischt wird das Bild dadurch, daß die im Längsverlauf der Flüsse immer dominanter werdenden kleinen Korngrößen in den Sedimenten beim Quarz Verdünnungseffekte bewirken, während andererseits Schluff und Tongehalte positiv mit den Feldspatgehalten korreliert sind (vgl. a. ROHDE 1970).

Die Tonminerale, speziell der Montmorillonit, haben oft als Folge der Verarmung an Alkalien und Erdalkalien fehlgeordnete Gitter. Eine Ausnahme hiervon bilden die Illite aus dem Usagebiet, deren durch wohlgeordnete Gitterstrukturen hervorgerufener scharfer Peak im Röntgenogramm sich in den Analysen der Hochwassersedimente bis zur Mündung der Nidda in den Main verfolgen läßt.

Einen dem Augit/Braune Hornblende-Verhältnis bei den Schwermineralen vergleichbaren Gang im Längsverlauf der untersuchten Flüsse nimmt das Quarz/Feldspat-Verhältnis, das nach FÖRSTNER (1973) zur Abgrenzung bestimmter geologischer Regionen herangezogen werden kann. Danach liegt das Verhältnis in vulkanisch beeinflussten Gebieten bei 0.5, während es in Karbonat- und Quarzitprovinzen Werte bis 20 annehmen kann.

In den untersuchten Vogelsbergflüssen steigt das Quarz/Feldspat-Verhältnis von 0.5 im Gebirge auf 5-6 in der Wetterau. Letztgenannte Werte dürften bei einer Korngrößenkorrektur, die hier jedoch nicht vorgenommen wurde, noch höher ausfallen, da, wie oben schon erwähnt, mit der Zunahme kleiner Korngrößen in der Wetterau der Feldspat, bedingt durch seine gute Spaltbarkeit, im Verhältnis zum Quarz relativ angereichert wird (ROHDE 1970).

Im Usagebiet schwankt das Quarz-Feldspat-Verhältnis zwischen 2 und 4, wobei die Tendenz im Längsverlauf leicht ansteigend ist.

6.3 Die Haupt- und Nebenelementgehalte der untersuchten Sedimente

Die in Abb.9 dargestellte Verteilung der Haupt- und Nebenelemente der untersuchten Flußsedimente beruht auf Durchschnittsgehalten von Bettmaterial und Hochwassersedimenten. Die Absolutwerte beider Sedimentgruppen differieren namentlich bei SiO_2 stark voneinander, da gerade Quarz sich stark in der Sandfraktion anreichert, während auf der anderen Seite die Sesquioxidgehalte in den feinkörnigen Sedimenten höher sind.

Dies wird u.a. bei der Nidda sehr deutlich, wo zwischen Dauernheim und Ober-Florstadt bei vorwiegend sandig-kiesigem Bettmaterial hohe SiO_2 -Gehalte vorliegen. Mit Beginn des Vollausbaus bei Ober-Florstadt treten nur noch feinkörnige Hochwasserablagerungen auf, was ein Absinken der SiO_2 -Werte um durchschnittlich 10% zur Folge hat, obwohl durch das Zurückdrängen der Basaltkomponenten durch den Löß gerade das Gegenteil zu erwarten wäre.

Die Hauptelementverteilung in den Sedimenten entspricht im Großen und Ganzen der Gesteinsverteilung im Einzugsgebiet (s. Abb. 2). Demnach sind in den Basaltgebieten des Seemenbachs, der Nidder, Nidda, Horloff und des Eichelbachs in den Sedimenten niedrige SiO_2 , aber hohe TiO_2 - und Sesquioxidgehalte anzutreffen. Lediglich im Bereich der oberen Wetter werden die Basaltwerte nicht erreicht, da hier mächtigere Lößablagerungen anzutreffen sind (s. Abb. 2).

Bei den Sedimenten der Usa im Gebiet des Taunus fällt auf, daß ihre Hauptelementgehalte mehr zu denen des Taunusquarzit als zu denen des Tonschiefers bzw. der Grauwacke hin tendieren, obwohl letztgenannte Gesteine die größeren Flächen einnehmen und außerdem in unmittelbarer Flußnähe anzutreffen sind, während der Quarzit fast ausschließlich auf die umrahmenden Höhenzüge beschränkt bleibt (BIBUS 1971, MICHELS 1977). Der Grund dafür dürfte in einer relativen Quarzanreicherung als Folge der Korngrößen-

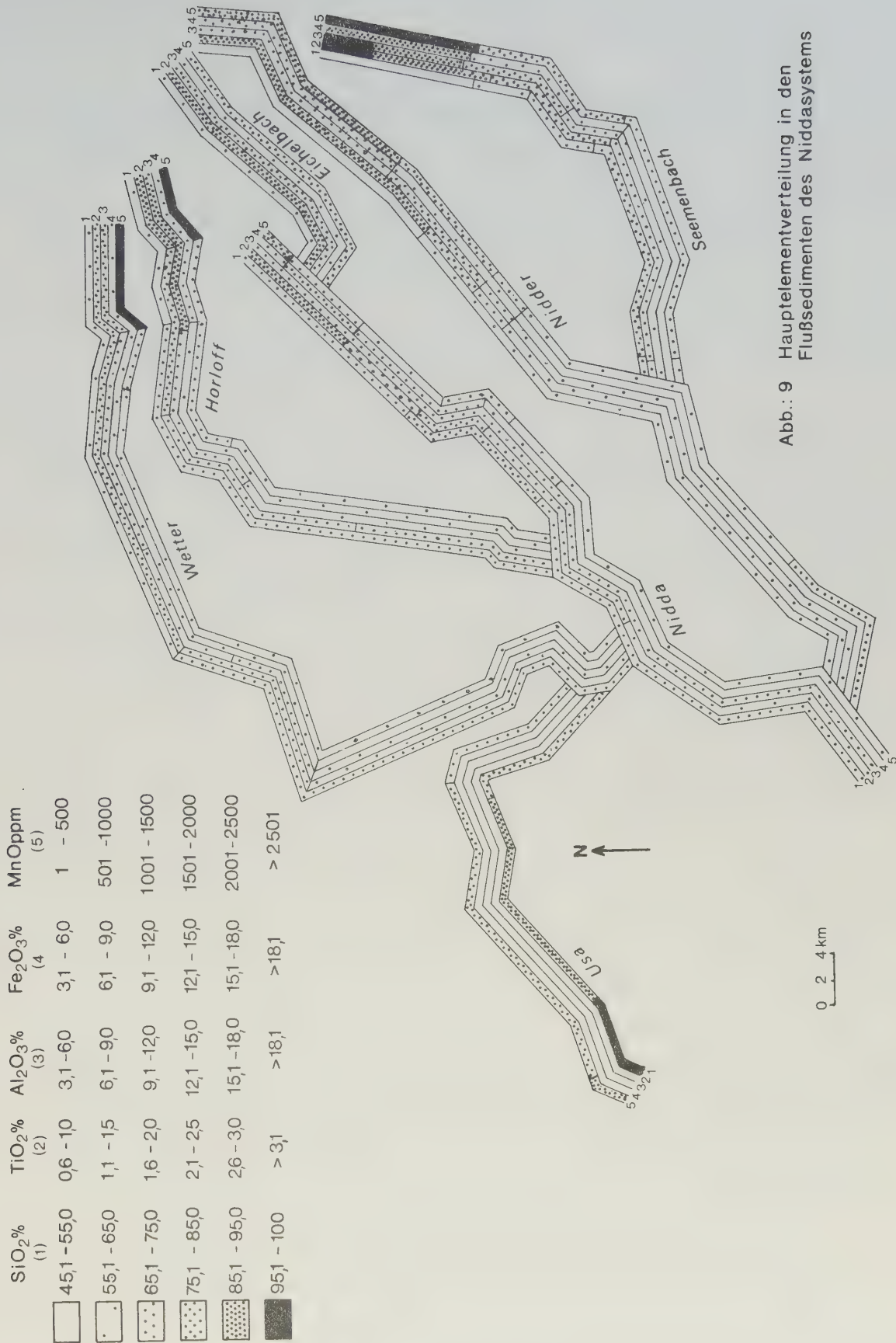


Abb.: 9 Hauptelementverteilung in den
Flußsedimenten des Niddasystems

zusammensetzung (70-90% Sandanteil an der Fraktion <2mm) liegen.

6.4 Die Berechnung des Schwermetallbackgrounds der untersuchten Sedimente

6.4.1 Bindungsarten von Schwermetallen in Gesteinen, Böden und aquatischen Sedimenten

Im folgenden Kapitel sollen Bindungsarten und Migration der untersuchten Spurenmetalle in Gesteinen, Böden und aquatischen Sedimenten in groben Umrissen dargelegt werden. Diese Zusammenstellung erscheint mir zum besseren Verständnis der in den folgenden Kapiteln beschriebenen Versuche einer Berechnung der geogen bedingten Schwermetallgehalte der Flußsedimente des Niddasystems sowie einer Abschätzung ihrer remobilisierbaren Anteile notwendig zu sein. Ausführlich dargestellt werden die hier z.T. nur exemplarisch kurz und unvollständig beschriebenen Zusammenhänge z.B. bei FÖRSTNER u. WITTMANN (1979) (dort auch Verweise auf weiterführende Literatur).

In den Magmatiten ist die Hauptmasse der untersuchten Spurenmetalle in Inertpositionen in die Gitter der Silicatminerale eingebaut. Sie substituieren dort Elemente ähnlicher Ionenradien, und zwar überwiegend Alkali- und Erdalkalimetalle, z.T. auch Fe-Ionen. Eigene Minerale sind mengenmäßig nur von untergeordneter Bedeutung. Danach ergibt sich für einige der untersuchten Elemente folgendes Bild: BLEI ist in den Silicatmineralen in Feldspäten und Glimmern angereichert, wo es als Pb^{2+} mit einem Ionenradius von $1.32 \text{ \AA}$ Ba^{2+} , Ca^{2+} , K^+ , Na^+ und Sr^{2+} ersetzt. Bei hohen Eh-Werten zu Pb^{4+} ($0.84 \text{ \AA}$) oxidiert, substituiert es Fe^{2+} und Ti^{2+} in Erzmineralen. Bleiglanz (PbS) als wichtigstes Bleimineral tritt mengenmäßig nur untergeordnet auf (MATTHESS 1972, WEDEPOHL 1956).

- CHROM Wichtigste Träger des Cr im Gestein sind die Pyroxene, gefolgt von den Magnetiten. Beinahe chromfrei sind dagegen die Feldspäte (FRÖHLICH 1960). Hohe Chromgehalte in Olivinen, wie sie von RÖSSLER u. LANGE (1976) angegeben werden, sind nach FRÖHLICH (1960) auf Picotiteinsprenglinge zurückzuführen. Ohne diese weisen Olivine die gleichen Chromgehalte auf wie das Gesamtgestein. Der SiO_2 - und der Cr-Gehalt von Magmatiten sind negativ korreliert, d.h. mit steigendem SiO_2 sinkt der Gehalt an Cr (FRÖHLICH 1960).
- KUPFER liegt meist als dispers verteilter Kupferkies und weniger im Kristallgitter von Silicatmineralen vor (WEDEPOHL 1963).
- ZINK Die höchsten Zinkgehalte finden sich in den "hydroxylhaltigen Fe^{2+} - Mg^{2+} - Mineralen magmatischer Entstehung" (WEDEPOHL 1953:137). Es folgen, nach ihren Anteilen geordnet, Pyroxene, Magnetite, Olivine und Feldspäte. Glimmer und Quarz enthalten nur unbedeutende Mengen an Zn. "Infolge seines relativ unedlen Charakters" (SCHRÖTER et al. 1979:409) substituiert Zink in den Kristallgittern neben den Makroelementen Fe^{2+} , Mg^{2+} , Mn^{2+} und Ti^{2+} auch die Spurenmetalle Co^{2+} , Cr^{2+} und Ni^{2+} (WEDEPOHL 1953). Zinkblende (ZnS) als häufigstes Zinkmineral tritt mengenmäßig nur untergeordnet in Erscheinung.

Durch Verwitterung, Transport, Fällungsreaktionen und Adsorptionsvorgänge (physikalisch wie chemisch) treten in den Sedimentiten zu den bis hierher beschriebenen Bindungsarten noch weitere hinzu, deren wichtigste in der nun folgenden Behandlung der Spurenelementbindung in Böden mitbeschrieben werden.

KIESER (1969:250) teilt die Bindungsmöglichkeiten der Spurenmetalle in Böden in zwei Hauptgruppen ein und zwar

1. in mineralogische Komplexe und
2. in metallorganische Komplexe.

Eine Anreicherung von Schwermetallen in mineralogischen Komplexen findet hauptsächlich statt in

1. Tonmineralen. Durch die Substitution von Si^{4+} durch Al^{3+} und Fe^{3+} in die Tetraederschichten von Illit und Hydroglimmer sowie durch die durch Eintausch zweiwertiger Metalle anstelle von Al^{3+} in die Oktaederschichten von Montmorillonit verursachten negativen Ladungsüberschüsse können Schwermetalle adsorbiert werden (ABADIAN 1976, ABDUL-RAZZAK 1974). So stellten z.B. SCHLICHTING u. ELGALA (1975) eine charakteristische Zunahme von Zn, Co, Cu und Mn mit steigendem Tongehalt fest. Hierbei werden Cu (WEDEPOHL 1953) und Pb (PATCHINEELAM 1975) bevorzugt von Montmorillonit adsorbiert, während Cr eher eine Bindung mit Illit und Chlorit eingeht (FRÖHLICH 1960). Auch Pb wird durch Adsorption in Tonmineralen stark angereichert (MATTHESS 1972, WEDEPOHL 1956).
2. Unter oxidierenden Bedingungen reichern sich mitgefällte Schwermetalle in Oxidhydraten von Fe und Mn an. Hierbei kommt es sowohl zu Adsorption als auch zur Inkludierung von Metallen. Bevorzugt an Manganoxidhydrate werden Co (KIESER 1969) und Ni (PATCHINEELAM 1975), an Fe-Oxydhydrate Cu adsorbiert (THOMAS 1968). Das Verhalten der übrigen untersuchten Schwermetalle erscheint indifferent. Als Folge dieser Bindung resultieren hohe Schwermetallgehalte in lateritischen Böden, sowie in den Sesquioxidanreicherungs-horizonten von Pseudogleyen und Gleyen (SCHLICHTING 1976)

In reduzierendem Milieu werden die adsorbierten und inkludierten Metalle wieder mobilisiert.

Die Schwermetallanreicherung in organischem Material erfolgt unter oxidierenden Bedingungen durch Physicosorption, Chemiesorption und Chelatbildung (FÖRSTNER u. WITTMANN 1979, KIESER 1969, PATCHINEELAM 1975). Umgekehrt kann in Böden mit hohen Gehalten an organischer Substanz in reduzierendem, schwach saurem bis alkalischen Milieu Schwermetallmobilisation durch organische Komplexe stattfinden (HERMS

u. BRÜMMER 1979).

Die stabilsten Chelate bildet Cu, gefolgt von Co, Zn und Mn (KIESER 1969).

Nach PATCHINEELAM (1975) gehen Pb und Zn bevorzugt Organometallverbindungen ein, während bei Cr, Cu und Ni diese Tendenz geringer ist.

In aquatischen Sedimenten herrschen die gleichen Bindungsarten wie in Böden, jedoch mit anderen Dominanzen. So sieht FÖRSTNER (1978) in der Komplexierung und Flockung der Schwermetalle mit organischen Substanzen den wichtigsten Festlegungsmechanismus. Dieser erhält in calcium- und schwebstoffreichen Wässern seine größte Effizienz. Weitere bedeutende Bindungsformen von Metallen in aquatischen Systemen sind die Ko-Präzipitation an wasserhaltige Fe- und Mn-Hydroxide sowie die Sorption an Feststoffe (PATCHINEELAM 1975).

Die Größenordnung, welche die einzelne Bindungsart einnimmt, ist für jedes Element, für jedes chemische Milieu und für jedes Substrat unterschiedlich, so daß an dieser Stelle auf quantitative Aussagen verzichtet werden muß.

6.4.2 Methodik zur Berechnung der natürlichen Schwermetallgehalte in den Sedimenten

Die Anregung, die natürlichen Schwermetallgehalte der 215 untersuchten Sedimente nach den Spurenmetalldurchschnittsgehalten der Minerale zu berechnen, die in den Sedimenten enthalten sind, erhielt ich durch eine Arbeit von WEDEPOHL (1953). Dort wurde diese Methode am Beispiel von Zink mit guter Übereinstimmung von rechnerisch und analytisch ermittelten Gehalten angewendet.

Die durchschnittlichen Spurenmetallgehalte der Minerale sind, außer in den Standardwerken von RÖSSLER u. LANGE (1976) und WEDEPOHL (1969), deren Angabengenauigkeit

meist nur 10er Potenzen umfaßt, sehr detailliert in den Arbeiten von FRÖHLICH (1960; Chrom), MATTHESS (1972; Blei) und WEDEPOHL (1953; Zink, 1956; Blei, 1963; Kupfer) abgehandelt..

Meiner Berechnung liegen folgende Prämissen zugrunde:

1. Es wird davon ausgegangen, daß alle Minerale unverwittert vorliegen. Damit ist es möglich, die natürlichen nicht mineralgebundenen Fraktionen aus der Berechnung auszuschließen, da diese Produkte von Verwitterungsvorgängen sind. Durch diese statische Betrachtung werden natürliche An- und Abreicherungsprozesse von Schwermetallen in den Sedimenten nicht miterfaßt.
2. Untersuchungen zu Gehalt und Verteilung der Schwerminerale ergaben, wie Tab. 4 zeigt, unterschiedliche An- und Abreicherungs-faktoren für die am häufigsten vertretenen Schwerminerale in der FS- und GU-Fraktion. Hierbei ist zu beachten, daß der Schwermineralanteil im Schluff nur ca. 10% des Anteils in den Sandfraktionen ausmacht.

Tab.4 Durchschnittliches Verhältnis des Auftretens der häufigsten Schwerminerale in FS- und GU-Fraktion (20 Proben)

	Augit	Braune Hornblende	Olivin	Titanit	Zirkon
FS/GU	0.8	2.0-5.0	15.0	2.0	2.0

3. Da es, wie aus Tab.5 ersichtlich, mit dem zur Verfügung stehenden Röntgendiffraktometer nicht möglich war, die Tonminerale quantitativ zu bestimmen, wird bei der Berechnung davon ausgegangen, daß sich Tonminerale und Restkomponenten in Ton- und Gesamtfraktion die Waage halten (s.a. ABADIAN 1976)..

Tab. 5 Leicht- und Tonmineralbestand von Gesamt- und Tonfraktion (Angaben in relativen Intensitäten)

		Quarz	Kali- feld- spat	Pla- gio- klas	Illit	Kao- linit	Mont- morillonit
Basalt- gebiet	Gesamt	8	-	10	Spuren	Spuren	3
	Ton	3	-	-	Spuren	1	6
Über- gang	Gesamt	50	13	11	3	1	2
	Ton	6	1	1	2	3	4
Löß	Gesamt	36	4	9	5	2	Spuren
	Ton	6	6	5	4	3	Spuren

Demzufolge errechnen sich die Anteile einzelner Tonminerale an der Gesamtprobe aus dem Anteil der Tonminerale an der Tonfraktion sowie dem prozentualen Anteil der Tonfraktion an der Gesamtprobe.

Aus den geschilderten Berechnungsgrundlagen geht hervor, daß die Ergebnisse der geochemischen Backgroundberechnung zunächst als Richtwerte anzusehen sind, und einer Untermauerung durch Analysen bedürfen.

Die der Berechnung der natürlichen Schwermetallgehalte zugrunde liegenden Formeln sind im Anhang 1 in Form eines Auszugs aus der Source-Liste des verwendeten Rechenprogrammes dargestellt.

6.4.3 Der berechnete Schwermetallbackground der Flußsedimente des Niddasystems

Schon ein erster Vergleich der berechneten natürlichen Schwermetallkonzentrationen der Flußsedimente (s. Abb. 10) mit denen von Gesteinen und Böden der in Abb. 6 abgegrenzten Zonen zeigt, daß die berechneten Konzentrationen für die in Abb. 10 dargestellten Elemente in den zentralen Bereichen der jeweiligen Gesteinsprovinzen denen der Ausgangsgesteine nahe kommen.

Bezogen auf die einzelnen Elemente stellt sich das Verhältnis von berechneten Konzentrationen in den Flußsedimenten zur Höhe des jeweiligen Gesteinsbackgrounds wie folgt dar:

BLEI erreicht rechnerisch generell höhere Werte als der lokale Gesteinsstandard. Dies könnte seine Ursache darin haben, daß bei niedrigen Werten die semi-quantitative Ton- und Leichtmineralbestimmung sowie die relativ groben Angaben der Bleidurchschnittsgehalte o.g. Mineralgruppen zu ungenauen Ergebnissen führen.

CHROM Die berechneten Werte liegen bei mineralogisch dem Basalt nahe kommenden Proben (i.d.R. Bettmaterial) exakt auf Höhe des Gesteinsstandards. Bei Hochwasser- und Bodenproben, die schon aufgrund ihrer Korngrößenverteilung wie auch ihrer mineralogischen Zusammensetzung und nicht zuletzt wegen ihrer Hauptelementgehalte, (d. h. im Vergleich zum Basalt deutlich niedrigere Fe_2O_3 - TiO_2 - und Al_2O_3 -Werte gegenüber hohen SiO_2 -Gehalten) eine mehr oder weniger starke Löß- bzw. Lößlehmkomponente aufweisen, liegen die berechneten Chromwerte häufig unterhalb des Basaltstandards. Dies trifft beim Bettmaterial auch auf weite Bereiche der oberen Wetter und Horloff zu.

KUPFER Die errechneten Kupfergehalte der Sedimente liegen in den Basalt- und Devongebieten etwa 30% unterhalb des jeweiligen Gesteinsbackgrounds. In den Lößgebieten hingegen werden die Gesteinswerte erreicht. Die zu niedrigen Berechnungen dürften darauf zurückzuführen sein, daß der Pyrit, der die Hauptmasse des Kupfers enthält (vgl. Kap. 6.4.1), röntgenographisch nur semiquantitativ mit hohen Schwankungsbreiten bestimmt werden konnte.

NICKEL erreicht rechnerisch nur in den Sedimenten der Oberläufe von Nidda, Nidder und Seemenbach die Durchschnittswerte der Basalte. In Eichelbach, Horloff und Wetter liegen die berechneten Nickelwerte jedoch weit unterhalb dieses Standards. Das Gleiche trifft auf den Taunusanteil der Usa zu, wo ebenfalls nicht der Gesteinsstandard erreicht wird. Lediglich in den Lößgebieten der Wetterau entsprechen die berechneten Nickelgehalte in den Sedimenten denen des Gesteinsbackgrounds.

Da sich die Sedimente der betreffenden Bereiche von Wetter, Horloff und Eichelbach weder mineralogisch noch petrographisch oder nach den Hauptelementgehalten gravierend von denen der Basaltgebiete von Nidda, Nidder und Seemenbach unterscheiden, kann z.Zt. keine Begründung für die niedrigen berechneten Nickelgehalte in erstgenannten Flüssen gegeben werden.

ZINK verhält sich ähnlich wie Kupfer, wobei die Differenz zwischen Gesteins- und Sedimentbackground im Basalt und Devon hier nicht so hoch ist wie dort. Die Ursache hierfür dürfte im mengenmäßig geringeren Vorkommen von Zinkblende gegenüber dem Zink in anderen Mineralen liegen.

Bei der Betrachtung der berechneten Schwermetallgehalte ergibt sich unter Heranziehen der mineralogischen, granulometrischen und chemischen Analysen folgendes Bild (vgl. Abb.6 u. 10).

Blei (1)	Chrom (2)	Kupfer (3)	Nickel (4)	Zink (5)
1 - 6	21 - 70	11 - 20	1 - 40	31 - 42 ppm
7 - 12	71 - 120	21 - 30	41 - 80	43 - 54 ppm
13 - 18	121 - 170	31 - 40	81 - 120	55 - 66 ppm
19 - 24	171 - 220	41 - 50	121 - 160	67 - 78 ppm
25 - 30	> 221	51 - 60	> 161	79 - 90 ppm

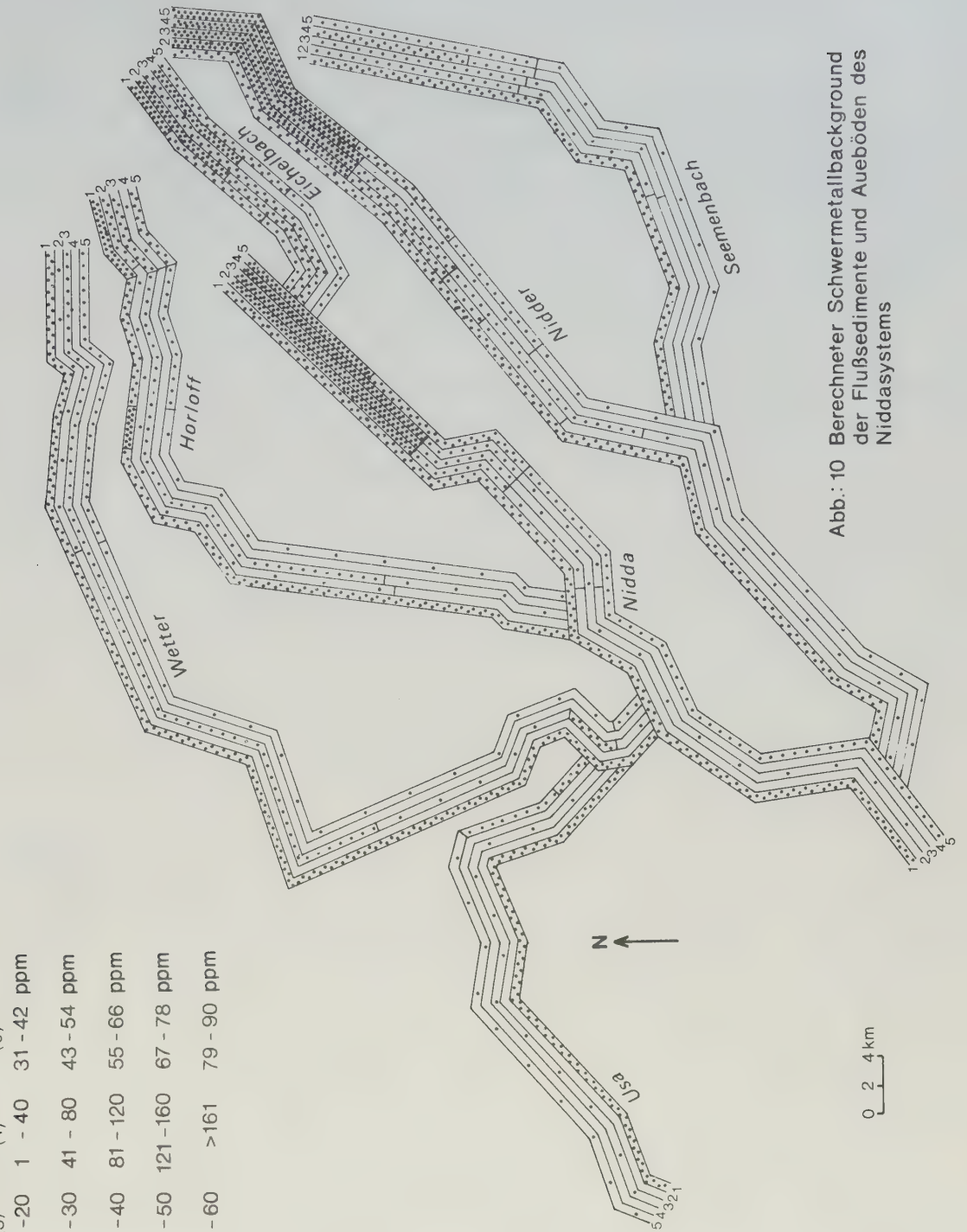


Abb.: 10 Berechneter Schwermetallbackground der Flußsedimente und Aueböden des Niddasystems

- NIDDA Basalthaltige Sedimente mit entsprechend hohen natürlichen Schwermetallgehalten sind bis weit in die in Abb.6 als Lößgebiete gekennzeichneten Regionen hinein anzutreffen. Das ist darauf zurückzuführen, daß in diesem Bereich über große Strecken oberflächennah Basalte anstehen (vgl. REICHMANN 1968, SCHARPFF 1972, SCHRADER 1976 u. Abb.2). Erst oberhalb der Horloffmündung werden bei allen untersuchten Elementen Gehalte erreicht, die geringfügig über dem Lößbackground liegen.
- NIDDER Bis zur Grenze des Basaltgebietes (s. Abb. 2 u. 6) auf der Höhe von Ortenberg werden für die Flußsedimente mit o.g. Ausnahmen Werte errechnet, die den Gehalten im anstehenden Gestein entsprechen. Flußabwärts nehmen die Konzentrationen in der Reihenfolge Cr > Zn > Ni > Cu schnell ab, sodaß ab Seemenbachmündung für alle Elemente, mit Ausnahme von Blei, Lößbackground erreicht ist. Der
- SEEMEN- verhält sich der Nidder adäquat.
BACH
- EICHEL- Kupfer, Zink und vor allem Nickel erreichen nicht
BACH die Durchschnittsgehalte des Basalts. Grund hierfür dürfte u.a. sein, daß große Teile vor allem der feinkörnigeren Sedimente aus pleistozänem Solifluktionsschutt stammen, der als Lößlehm mehr oder weniger stark mit Basaltschutt vermischt die Talhänge überkleidet (REICHMANN 1968). Wo diese Solifluktionsdecke nur geringmächtig ist, oder fehlt, bzw. wo die Lößbeimengung niedrig ist, werden in den Sedimenten die Durchschnittswerte für Basalt erreicht. Dies gilt auch für die Oberlaufbereiche der
- HORLOFF und in noch stärkerem Maße für die
WETTER, wo die pleistozänen Deckschichten so mächtig werden (WALTER 1974), daß in den Wettersedimenten der Basaltbackground nie, in den Horloffsedimenten nur im obersten Oberlauf erreicht wird. Im weiteren Verlauf beider Flüsse wird schnell der Lößbackground,

z.T. geringfügig erhöht, erreicht.

USA Auch im Usagebiet vermindern z.T. mächtige Solifluktionsschichten (BIBUS 1971) die natürlichen Schwermetallgehalte der Flußsedimente, , wenn auch nicht in so starkem Maße wie bei den Vogelsbergflüssen.

6.4.4 Bewertung der berechneten Schwermetallgehalte

Die Genauigkeit der Berechnungsmethode wurde zum einen an Proben aus tieferen Sedimentschichten (50cm unter Sedimentoberkante) zum anderen anhand der im Anhang 2 dargestellten Häufigkeitssummenkurven der Metalle überprüft.

Nach allen z.Zt. vorliegenden Untersuchungsergebnissen (z.B. ABO-RADY 1977, FÖRSTNER 1978, FÖRSTNER u. WITTMANN 1979, MEISCH u.a. 1978, MICHLER u.a. 1980, MÜLLER 1977) kann davon ausgegangen werden, daß die tieferen Sedimentpartien, sofern sie nicht im Bereich von Stauhaltungen liegen (REINHARD u. FÖRSTNER 1976), i.d.R. unkontaminiert sind. Denn in den schwermetallangereicherten Sedimenten, die die Metalle durch die verschiedensten Festlegungsmechanismen (s. Kap. 6.4.1) dem Wasser entzogen haben und unter den entsprechenden hydraulischen Bedingungen sedimentiert wurden, sind, wenn nicht extrem reduzierende Bedingungen herrschen, die Metalle festgelegt (FÖRSTNER 1978). Wenn hier Lösungsmechanismen zum Tragen kommen, werden die Metalle i.d.R. an das Wasser abgegeben und nicht in tiefere Sedimentschichten verlagert (NEULAND et al. 1978, REICHERT u. GRUBER 1978, TESSIER et al. 1978).

Aus diesen Gründen wurde auch bei vorliegender Untersuchung davon ausgegangen, daß in den tieferen Sedimentpartien unkontaminierte Sedimente vorliegen, die zur Überprüfung der Berechnungsmethodik herangezogen werden können. Tab. 6 zeigt anhand von je 1 Probe aus Vogelsberg, Taunus und Wetterau, daß in tieferen Sedimentpartien eine gute Übereinstimmung zwischen gemessenen und berechneten Schwermetallgehalten existiert.

Tab.6 Berechnete und analysierte Schwermetallgehalte von 3
Bettmaterialproben 50cm unter Sedimentoberkante
(g=gemessen/b=berechnet) (Angaben in ppm)

	Ni		Cr		Cu		Pb		Zn	
	g	b	g	b	g	b	g	b	g	b
Wetterau	100	97	170	165	38	36	15	23	65	61
Taunus	39	20	47	41	17	25	30	22	100	67
Vogels- berg	119	50	167	158	22	30	32	26	100	73

Ein Vergleich der berechneten Werte mit den im Anhang 2 für die Regionen Wetterau und Vogelsberg sowie für das Gesamtniederschlagsgebiet über die Häufigkeitssummenkurven ermittelten Abgrenzungen für Untergrund-, Schwellen- und Anomaliebereiche der untersuchten Schwermetalle zeigt folgendes:

1. Für die Elemente Cr, Cu und Ni stimmen Gesteinsuntergrund (Abb.6), berechneter Untergrund (Abb.10) und Untergrund der analysierten Proben überein..
2. Für Pb und Zn liegen die Obergrenzen der berechneten Gehalte bis zu 50% bzw. 75% unterhalb der im Anhang 2 ermittelten Untergrundobergrenzen. Dieser Umstand findet in Kap. 7.3 bei der Darstellung der Schwermetallanreicherung in den untersuchten Sedimenten Berücksichtigung.

Zusammenfassend läßt sich festhalten, daß die Berechnung der Untergrunds schwermetallgehalte in der oben beschriebenen Art für das Niddagebiet brauchbare Ergebnisse liefert. Der Hauptnutzen der Berechnung liegt neben einem detaillierten Überblick über die Backgroundverhältnisse darin, daß die Berechnung für jede Analyse einen Untergrundwert und damit die für eine Regressionsanalyse notwendige Ergänzung zu einem Wertepaar bringt.

7. Schwermetallgesamtgehalte von Bett- und Hochwasser-sedimenten

7.1 Bettsedimente

In Abb. 11 sind die durchschnittlichen Schwermetallgehalte der Flußsedimente dargestellt, wobei hier schwerpunktmäßig die Gehalte der Bettsedimente eingegangen sind, da, wie im folgenden Kapitel dargelegt wird, die Schwermetallgehalte der Hochwassersedimente großen Schwankungen unterworfen sind.

Auf das gesamte Einzugsgebiet bezogen liegen die Konzentrationen von Chrom, Nickel und - mit Einschränkungen - auch die von Kupfer im Bereich des jeweiligen geochemischen Backgrounds. Während Chrom und Nickel diesen nur vereinzelt geringfügig überschreiten, was sich neben den in Abb. 11 dargestellten Metallkonzentrationen auch in den in Tab. 7 dargestellten hohen Korrelationskoeffizienten für Background- und Gesamtgehalte dokumentiert, trifft dies für Kupfer nur eingeschränkt zu. So treten im Ober- und Unterlauf der Nidda, im Eichelbach im Bereich von Eichelsachsen sowie lokal im Mittel- und Unterlauf von Wetter und Horloff gegenüber dem Background erhöhte Kupfergehalte auf, die offenbar in Verbindung mit den dort ebenfalls hohen Zinkgehalten zu sehen sind. Tab. 7 belegt diesen Zusammenhang durch die niedrigen Korrelationskoeffizienten zwischen Cu(g) und Cu(b) einerseits und den hohen zwischen Cu (g) und Zn(g) andererseits, wobei, dokumentiert durch niedrige Korrelationskoeffizienten, keine gute Übereinstimmung zwischen Cu(b) und Zn(g) sowie Cu(g) und Zn(b) besteht. Daß die Kupferanomalien andererseits nicht gravierend sind, belegen die guten Korrelationen zwischen Cu(g) und Cr(b), Cr(g), Ni(b) und Ni(g).

Gegenüber dem geochemischen Background deutlich, stellenweise sogar extrem erhöhte Gehalte treten an vielen Stellen des Einzugsgebietes für Blei und Zink auf.

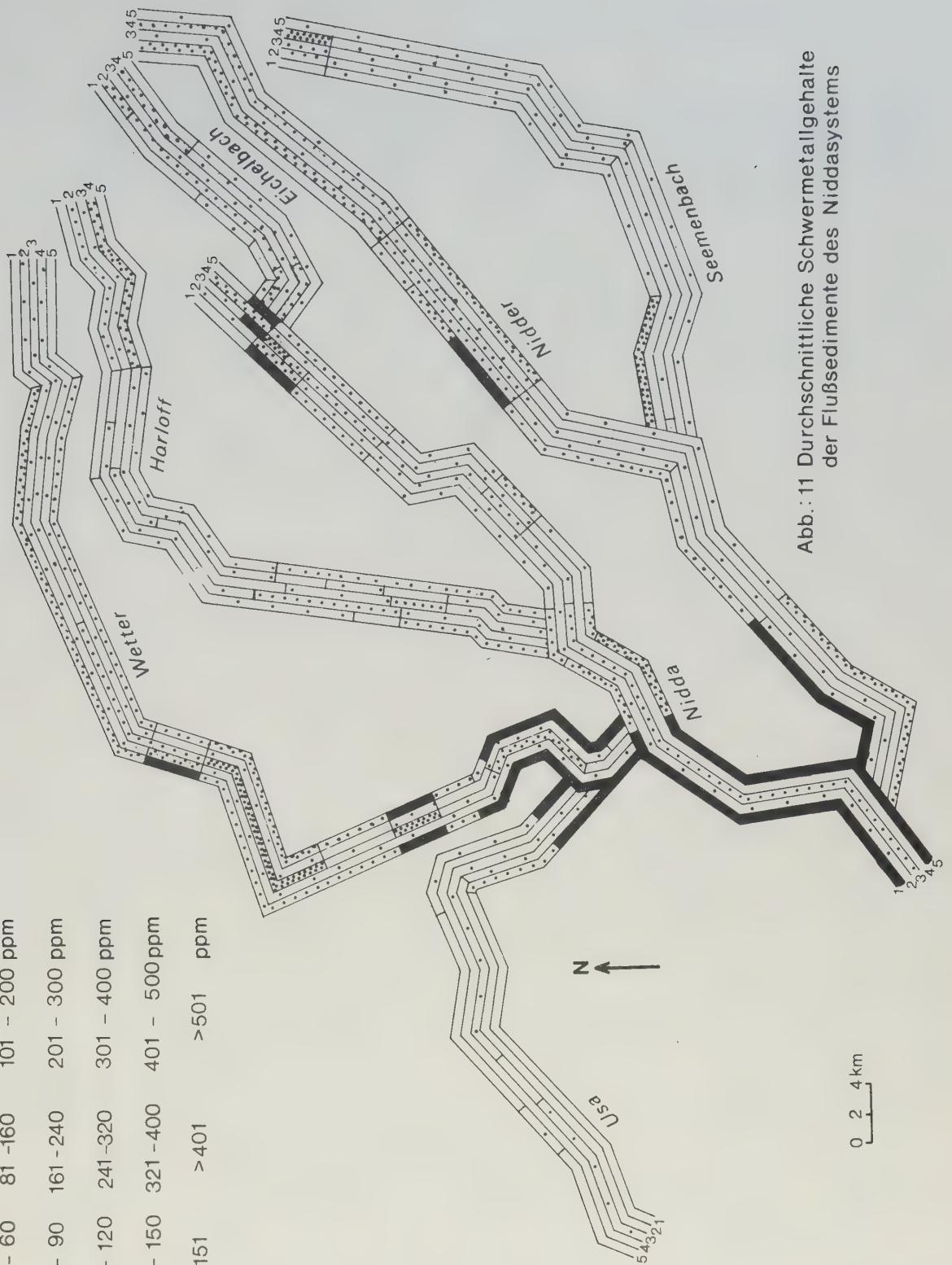
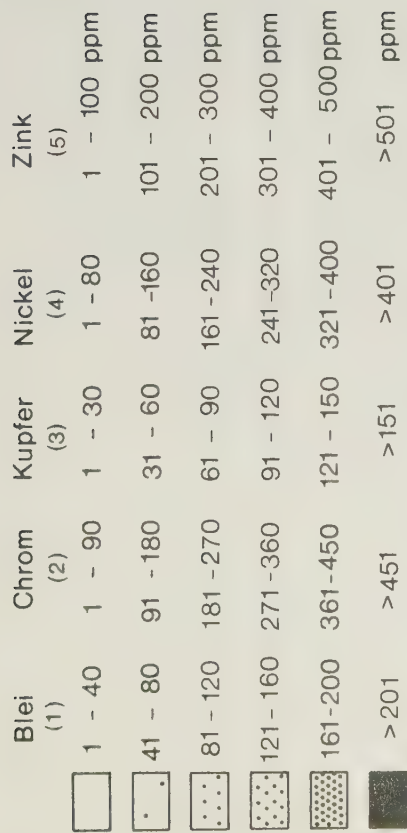


Abb.: 11 Durchschnittliche Schwermetallgehalte
der Flußsedimente des Niddasystems

TAB 7: KORRELATIONSKOEFFIZIENTEN "R" FÜR BACKGROUND- (B) UND GESAMTSCHWERMETALLGEHALTE (G). IM UNTEREN ABSCHNITT DES DIAGRAMMS SIND DIE KOEFFIZIENTEN MIT EINER IRRTUMSWAHRSCH EINLICHKEIT VON <1% (-) UND <0.1% (=) VERMERKT.

	I CD	I CU	I CU	I CR	I CR	I NI	I NI	I MN	I PB	I PB	I ZN	I ZN	
	I G	I B	I G	I B	I G	I B	I G	I G	I B	I G	I B	I G	
CD G	I X	I	.15I	.41I	.20I	.08I	.16I	-.14I	-.14I	.10I	.27I	.13I	.71I
	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
CU B	I	I X	I	.39I	.87I	.84I	.76I	.44I	.18I	.35I	.17I	.97I	.14I
	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
CU G	I	I	.39I X	I	.74I	.79I	.84I	.56I	.19I	.35I	.22I	.35I	.70I
	I	I	---	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
CR B	I	I	.87I	.74I X	I	.98I	.99I	.68I	.38I	.17I	.19I	.80I	.31I
	I	I	===I	===I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
CR G	I	I	.84I	.79I	.98I X	I	.96I	.67I	.25I	-.27I	-.08I	.81I	.35I
	I	I	===I	===I	===I	I	I	I	I	I	I	I	I
NI B	I	I	.76I	.84I	.99I	.96I X	I	.67I	.38I	-.21I	.18I	.77I	-.10I
	I	I	===I	===I	===I	===I	I	I	I	I	I	I	I
NI G	I	I	.43I	.56I	.68I	.67I	.67I X	I	.90I	-.41I	-.10I	.37I	.18I
	I	I	===I	===I	===I	===I	===I	I	I	I	I	I	I
MN G	I	I	I	I	.38I	I	.38I	.90I X	I	-.28I	-.09I	.15I	-.08I
	I	I	I	I	---	I	---	===I	I	I	I	I	I
PB B	I	I	.35I	I	I	I	I	-.41I	I X	I	.13I	.19I	.25I
	I	I	---	I	I	I	I	===I	I	I	I	I	I
PB G	I	.27I	I	.22I	I	I	I	I	I	I X	I	.09I	.45I
	I	===I	I	---	I	I	I	I	I	I	I	I	I
ZN B	I	I	.97I	.35I	.81I	.80I	.77I	.37I	I	I	I X	I	.44I
	I	I	===I	---	===I	===I	===I	---	I	I	I	I	I
ZN G	I	.71I	I	.70I	I	I	I	I	I	I	.45I	.44I X	I
	I	===I	I	===I	I	I	I	I	I	I	===I	===I	I

ANZAHL DER IN DIE BERECHNUNG EINGEGANGENEN WERTE :

BERECHNETE BACKGROUNDGEHALTE N = 60
GEMESSENE GESAMTGEHALTE N = 200

Besonders hohe Bleikonzentrationen in Bettsedimenten finden sich am Unterlauf von Wetter, Nidder und Seemenbach. Bei weitem die höchsten Gehalte mit fast 1000ppm wurden jedoch im Unterlauf der Usa registriert. Letzteres gilt auch für Zink, das hier Werte bis 2700ppm erreichte. Ebenfalls hohe Zinkkonzentrationen sind in den Bettsedimenten der mittleren und unteren Wetter sowie punktuell in denen der oberen Nidda anzutreffen. Der eindeutig anthropogene Charakter der hohen Pb- und Zn-Konzentrationen in o.g. Bereichen manifestiert sich in Tab. 7 am fehlenden Zusammenhang vor allem von Zink (gesamt) mit Chrom, Kupfer und Nickel. Daß diese Elemente in natürlichen Konzentrationen in enger Beziehung zueinander stehen, zeigen die guten Korrelationskoeffizienten für die Backgroundgehalte.

Auf die Quellen der Metallverschmutzung wird in einem gesonderten Kapitel eingegangen.

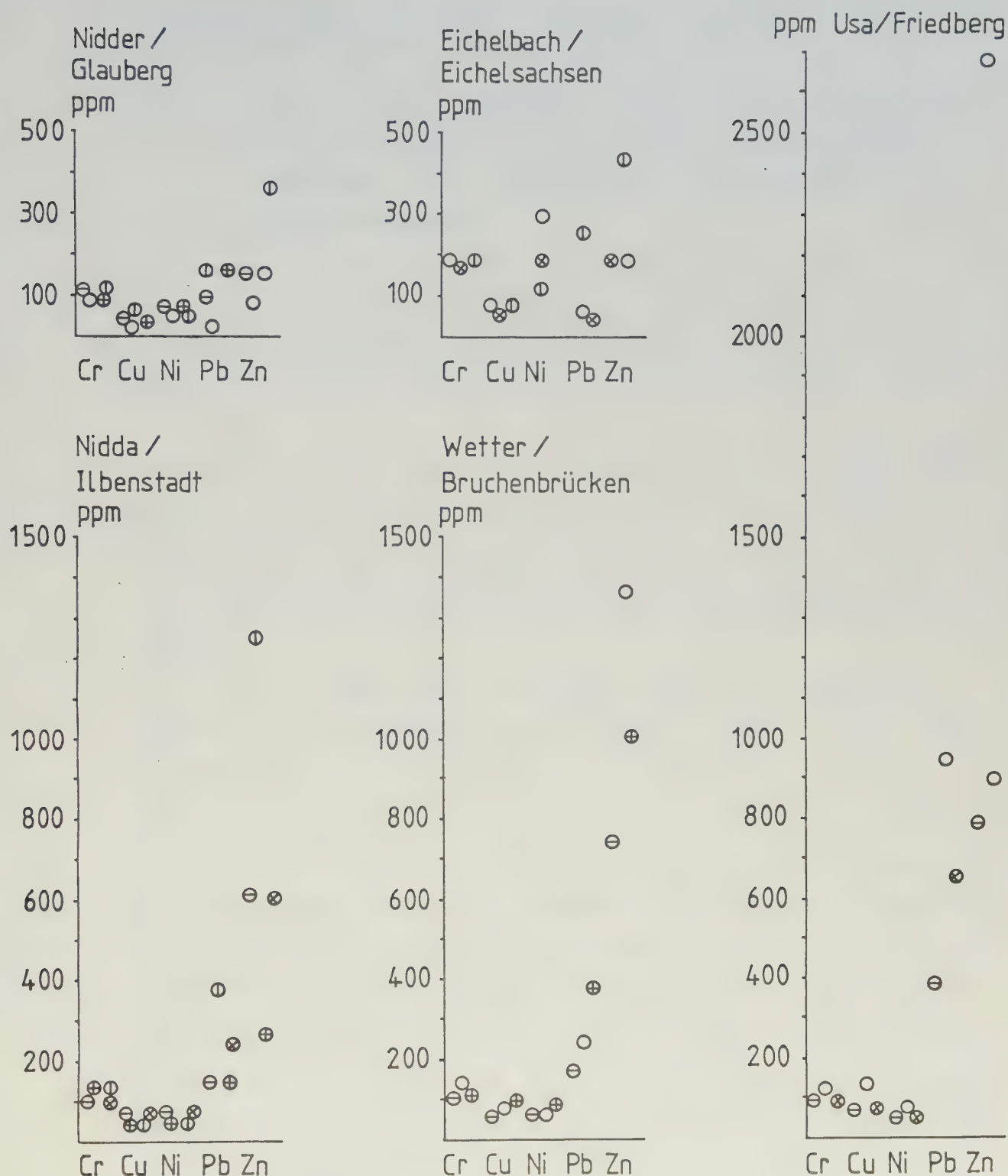
7.2 Hochwassersedimente

Im Verlauf der Untersuchungen konnten mehrere Hochwasserereignisse gebietsrepräsentativ beprobt werden und zwar

1. Sommer-, Herbst- und Winterhochwässer nach vorangegangener Niedrigwasserperiode und
2. ein Winterhochwasser nach einer Hochwasserperiode.

Charakteristisch für alle Hochwässer im Niddasystem ist ein im unteren Anstieg der Welle befindlicher Peak, der aus der Kanalisation der näheren Pegelumgebung errührt. Er ist bei Starkregen besonders ausgeprägt. Hier finden sich im Wasser die höchsten Konzentrationen abwassercharakteristischer Hauptelemente, sowie in den Schwebstoffen die höchsten Glühverluste (SCHREIBER 1976), was auf überwiegende Herkunft aus der Kanalisation schließen läßt (HELLMANN 1975). Aufgrund der Ergebnisse von BACCINI (1976) und FÖRSTNER u. WITTMANN (1979) für Blei und von HELLMANN (1975), SCHLEICHERT (1975) und WINKLER (1978) für andere Spurenmetalle ist zu vermuten, daß hier auch die höchsten Schwermetallkonzentrationen im Schwebstoff

Abb.12: Schwermetallgehalte von Bett- und Hochwassersedimenten



- Bettmaterial
- Hochwassersediment (Sommer nach Niedrigwasserperiode)
- ⊖ Hochwassersediment (Herbst nach Niedrigwasserperiode)
- ⊕ Hochwassersediment (Winter nach Niedrigwasserperiode)
- ⊗ Hochwassersediment (Winter nach Hochwasserperiode)

zu finden sind. Sporadisch vorgenommene eigene Schwebstoffuntersuchungen zeigen denn auch (Tab. 8), daß im Hoch-

Tab. 8 Kohlenstoff-, Phosphor- und Schwermetallkonzentrationen (ppm) in Schwebstoffen der Nidda bei Ilbenstadt bei steigendem (1) und fallendem (2) Winterhochwasser

	C	P	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
1	41300	11600	3	85	76	85	167	450
2	24100	5480	0	51	15	32	112	84

wasseranstieg alle Elemente angereichert sind, wobei die abwassercharakteristischen Elemente (ROLFE u. JENNET in KRENKEL 1975) Cadmium, Kupfer und Zink besonders hohe Anreicherungsraten aufweisen. Zu ähnlichen Ergebnissen kommt auch ABADIAN (1976) bei seinen Untersuchungen am Neckar.

Quelle dieser hohen Konzentrationen sind aus der Kanalisation stammende Schwebstoffe, die mit feinkörnigem Bettmaterial, das bei geringen Fließgeschwindigkeiten sedimentiert und bei Abflußanstieg erodiert wird, die Hochwasserablagerungen bilden, die beim abklingenden Hochwasser im Ufer- und Auenbereich sedimentiert werden. Die Hochwassersedimente unterscheiden sich vom Bettmaterial durch eine für als Schwebstoff transportierte Partikel (FÖRSTNER u. WITTMANN 1979) sehr charakteristische Korngrößenverteilung von 70-90% Schluff, wobei i.d.R. die Hälfte auf den Grobschluff entfällt, sowie im Durchschnitt um 100% höhere Gehalte an organischem Material und Phosphor. Letztere sind zwar teilweise korngrößenbedingt (ROHDE 1970), werden aber andererseits als Indikatoren für den starken Einfluß von Kommunalabwässern gewertet (HELLMANN 1970).

Im Gegensatz zu der recht homogenen Korngrößenzusammensetzung und den gleichmäßigen Anreicherungsraten für organisches Material und Phosphor in den Hochwassersedimenten,

zeigen die untersuchten Schwermetalle ein recht unterschiedliches Verhalten. Wie für das Untersuchungsgebiet repräsentativ aus Abb. 12 zu entnehmen ist, liegen die Chrom-, Kupfer- und Nickelwerte von Bett- und Hochwassersedimenten mit Ausnahme des Eichelbachoberlaufes bei Eichelsachsen im jeweils gleichen Bereich, während die Gehalte von Blei und Zink starken Schwankungen unterworfen sind. Diese sind umso größer, je stärker das Gewässer belastet ist. Auch zeigt sich, daß, obwohl für die Unterläufe von Usa und Wetter keine Ergebnisse vorliegen, die Sedimente von Sommerhochwässern die höchsten Schadstoffgehalte aufweisen.

Auf die Ursachen für die extreme Blei- und Zinkbelastung von Usa und Wetter im Gebiet von Friedberg bis zur Mündung der Wetter in die Nidda wird später noch näher eingegangen.

In Tab.9 sind die durchschnittlichen Anreicherungs-raten zwischen Bett- und Hochwassersedimenten dargestellt. Dabei ist Blei in den Mittellaufbereichen von Eichelbach, Horloff, Nidda, Nidder, Seemenbach und Wetter in den Hochwasserablagerungen im Verhältnis zu den Bettsedimentgehalten, die hier meist auf Backgroundniveau liegen, häufig mäßig bis stark angereichert.

Da die Gehalte der Elemente Chrom, Kupfer, Mangan und Nickel jeweils nur einen engen Wertebereich umfassen, kommt es hier auch nicht zu hohen Differenzen zwischen Bett- und Hochwassersedimenten.

Beim Seemenbach wird, bedingt durch die besonders grobsandigen Bettsedimente auch im Unterlauf, die häufig beobachtete Affinität vieler Schwermetalle zu den feineren Korngrößen hin deutlich (LICHTFUSS u. BRÜMMER 1977), die hier zu einer deutlichen Anreicherung in den feinkörnigen Hochwassersedimenten führt. Ausgenommen hiervon ist Chrom, das sich, wie auch ABDUL-RAZZAK (1974) feststellt, bevorzugt in den gröberen Fraktionen anreichert.

Im Unterlauf der Usa führt eine permanent starke Schwermetallzufuhr zu extremen Metallgehalten im grobsandigen Bettmaterial, so daß sich hier der Effekt von negativen Anrei-

TAB 9 : DURCHSCHNITTliche QUOTIENTEN AUS METALLGEHALTEN HOCHWASSER-
SEDIMENTE / BETTSEDIMENTE IN OBER-, MITTEL- UND UNTERLAUF
DER FLUESSE DES NIDDA SYSTEMS.

			I	CD	I	CR	I	CU	I	MN	I	NI	I	PR	I	ZN	I
			I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
FICHELBRACH	MITTELLAUF		I	1.0I	I	1.0I	I	1.4I	I	1.2I	I	0.5I	I	2.5I	I	1.7I	I
			I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
HORLOFF	MITTELLAUF	OBFN	I	1.1I	I	0.5I	I	0.9I	I	0.5I	I	1.1I	I	10.4I	I	1.3I	I
			I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
		MITTE	I	2.5I	I	1.5I	I	1.2I	I	0.5I	I	1.2I	I	6.3I	I	1.5I	I
			I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
		UNTEN	I	2.5I	I	1.5I	I	1.4I	I	0.5I	I	1.1I	I	4.4I	I	1.4I	I
			I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
	UNTERLAUF		I	2.5I	I	0.9I	I	1.5I	I	1.0I	I	1.3I	I	1.3I	I	1.3I	I
			I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
NIDDA	OBERLAUF		I	1.0I	I	0.5I	I	1.2I	I	1.0I	I	1.1I	I	5.0I	I	1.3I	I
			I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
	MITTELLAUF	OBFN	I	1.0I	I	1.5I	I	1.3I	I	1.1I	I	0.8I	I	3.0I	I	1.5I	I
			I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
		MITTE	I	1.0I	I	0.8I	I	2.0I	I	1.5I	I	0.5I	I	1.5I	I	2.1I	I
			I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
		UNTEN	I	1.0I	I	1.2I	I	3.7I	I	1.0I	I	1.3I	I	8.7I	I	5.3I	I
			I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
NIDDER	OBERLAUF		I	1.0I	I	0.6I	I	1.0I	I	1.1I	I	1.1I	I	1.0I	I	1.0I	I
			I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
	MITTELLAUF	MITTE	I	1.0I	I	1.0I	I	2.5I	I	0.9I	I	0.8I	I	6.6I	I	3.0I	I
			I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
		UNTEN	I	1.0I	I	0.7I	I	2.1I	I	1.1I	I	1.1I	I	8.3I	I	1.5I	I
			I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
	UNTERLAUF		I	2.0I	I	1.0I	I	1.3I	I	0.5I	I	1.2I	I	2.0I	I	2.3I	I
			I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
SEEMENBRACH	UNTERLAUF	OBFN	I	1.0I	I	1.5I	I	1.5I	I	1.5I	I	2.2I	I	2.3I	I	1.2I	I
			I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
		UNTEN	I	2.0I	I	1.2I	I	2.1I	I	1.5I	I	2.3I	I	3.5I	I	1.5I	I
			I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
USA	OBERLAUF		I	1.0I	I	0.7I	I	2.1I	I	1.3I	I	0.6I	I	2.4I	I	1.2I	I
			I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
	MITTELLAUF		I	3.0I	I	0.7I	I	2.2I	I	1.5I	I	1.3I	I	1.3I	I	2.2I	I
			I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
	UNTERLAUF		I	0.5I	I	0.8I	I	0.5I	I	1.5I	I	0.8I	I	0.5I	I	0.3I	I
			I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
WETTER	MITTELLAUF	OBFN	I	1.5I	I	0.7I	I	1.2I	I	1.3I	I	1.4I	I	1.7I	I	2.3I	I
			I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
		MITTE	I	1.0I	I	0.8I	I	1.4I	I	0.9I	I	1.2I	I	2.1I	I	1.2I	I
			I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
		UNTEN	I	2.0I	I	0.8I	I	1.8I	I	1.2I	I	1.1I	I	10.3I	I	1.7I	I
			I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
	UNTERLAUF	OBFN	I	1.5I	I	0.8I	I	1.3I	I	1.3I	I	2.3I	I	5.7I	I	2.3I	I
			I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
		UNTEN	I	1.0I	I	0.8I	I	1.1I	I	1.4I	I	1.0I	I	1.1I	I	0.8I	I
			I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I

cherungsraten in den feinkörnigen Hochwassersedimenten ergibt.

Die Wetter zeigt, wie auch alle übrigen untersuchten Flüsse für Zink, unter Beachtung der in Abb.11 dargestellten Absolutwerte für Bettsedimente, daß geringe Anreicherungs-raten von Schwermetallen in Hochwassersedimenten im Ver-gleich zu den Bettsedimenten auch Folge einer hohen Belastung der Bettsedimente sein können.

7.3 Schwermetallanreicherung in den Sedimenten

Für eine Beurteilung von Spurenmetallgehalten in der Umwelt, sei es aus ökologischer- oder aus juristischer Sicht (z.B. Verursacherprinzip), sind nicht so sehr die absoluten Konzentrationen der einzelnen Elemente von Bedeutung, als vielmehr ihre Anreicherung gegenüber dem lokalen Back-ground. Dieser ist, wie oben ausführlich dargelegt, im Untersuchungsgebiet außerordentlich heterogen, so daß ein Vergleich von einzelnen Flußabschnitten mit unterschied-lichem Background nur auf der Basis der Anreicherungs-faktoren möglich ist.

Die für Abb.13 vorgenommene Gruppenbildung der An-reicherungsfaktoren erfolgte in Anlehnung an das von FÖRSTNER u. MÜLLER (1974:103 ff.) entworfene Schema, das inzwischen bei vielen Flüssen der Bundesrepublik Deutsch-land zur Klassifizierung der Anreicherungs-raten von Schwer-metallen im Sediment Anwendung gefunden hat. In Modifikation der Originalskalierung werden in der vorliegenden Untersuchung aufgrund der in Kap. 6.4.4 dargelegten Vorbehalte bei der Backgroundberechnung Anreicherungs-faktoren bis 3 als natürlicher Background betrachtet. Außerdem wurde bei den übrigen Gruppen die Bandbreite verringert, sodaß extreme Anreicherungs-raten hier bei Werten größer 20 beginnen, während diese Kategorie von FÖRSTNER u. MÜLLER erst ober-halb 50 angesetzt wird.

Die Anreicherungs-faktoren einiger untersuchter Schwer-metalle zur Basis des jeweiligen berechneten geochemischen

Anreicherungsgrade		Elemente
1 - 3	Background	1 Blei
4 - 6	geringe Anreicherung	2 Chrom
7 - 10	mässige Anreicherung	3 Kupfer
11 - 20	starke Anreicherung	4 Nickel
> 20	extreme Anreicherung	5 Zink

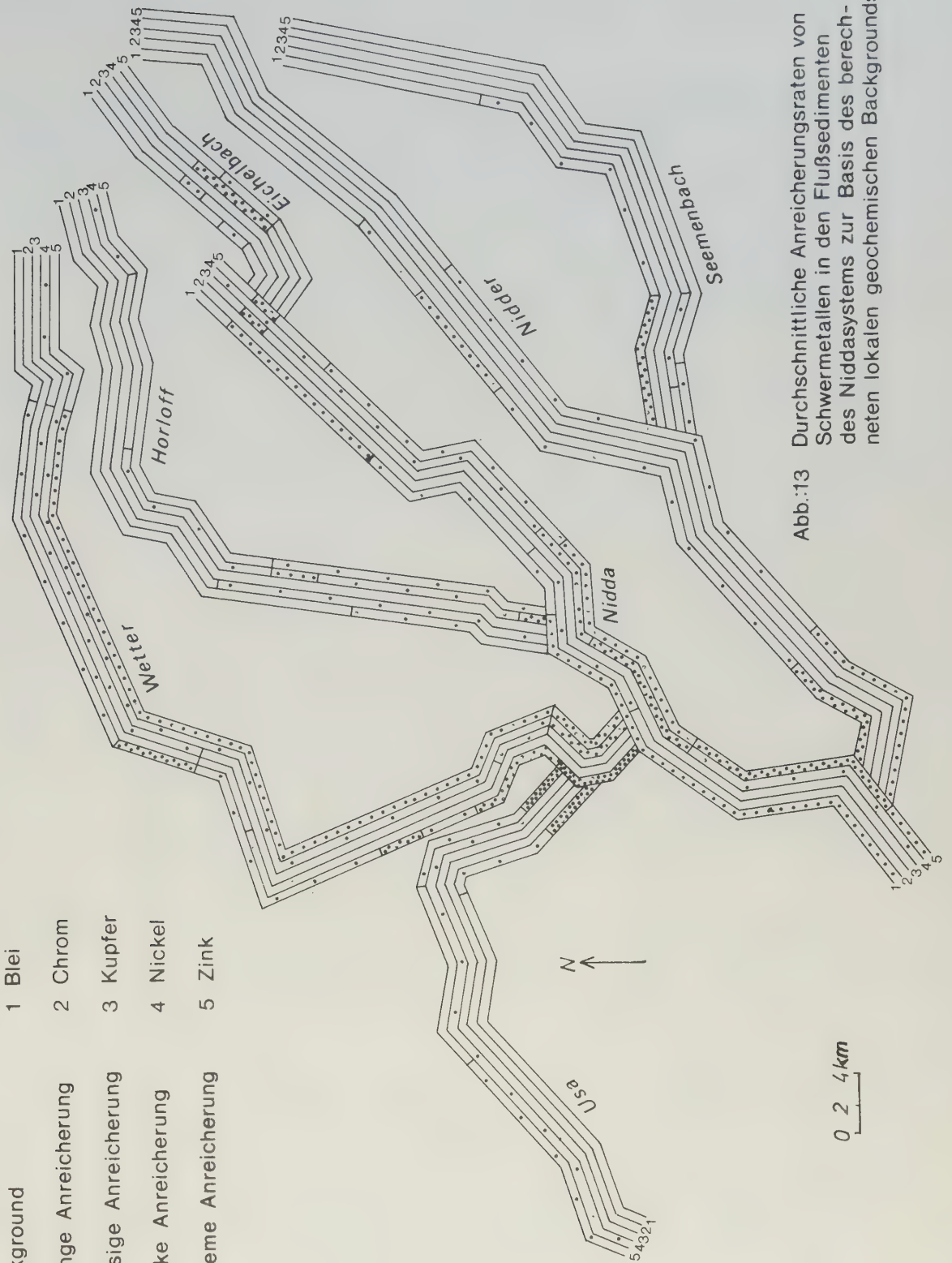


Abb.:13 Durchschnittliche Anreicherungsgrade von Schwermetallen in den Flusssedimenten des Niddasystems zur Basis des berechneten lokalen geochemischen Backgrounds

Backgrounds zeigt Abb. 13. Danach ergibt sich für die einzelnen untersuchten Flüsse folgendes Bild:

- EICHEL- Mit Ausnahme eines kleinen Bereichs um Eichel-
BACH sachsen, wo Nickel stark sowie Blei und Zink gering angereichert sind, finden sich in den übrigen Eichelbachsedimenten keine Metallanreicherungen. Ähnliches gilt für den
- SEEMEN- wo im Unterlauf Blei stark sowie Nickel und Zink
BACH, gering angereichert sind und für die
- NIDDER mit geringer bis mäßiger Blei- und Zinkanreicherung
im Mittellauf und starker Blei- bzw. mäßiger Zinkanreicherung in den Unterlaufsedimenten ab Windecken. Auch die
- HORLOFF zeigt unterhalb von Hungen geringe Anreicherungs-
raten bei Blei, Chrom, Nickel und Zink. Die
- USA weist im gesamten Verlauf bis Friedberg örtlich
geringe Anreicherungen von Blei, Nickel und Zink auf, während unterhalb von Friedberg die höchsten Blei- und Zinkanreicherungen des gesamten Nidda-gebietes zu finden sind. Die am stärksten belasteten Sedimente sind die der
- WETTER, wo mit Ausnahme des Oberlaufs bis Laubach Blei
und Nickel gering bis extrem, Kupfer gering und Zink mäßig bis stark angereichert sind und die der
- NIDDA, wo im gesamten Untersuchungsbereich Blei über-
wiegend mäßig, Nickel gering bis mäßig und Zink gering bis stark angereichert sind.

Der von vielen Autoren (z.B. ABO-RADY 1977, FÖRSTNER u. WITTMANN 1979, LICHTFUSS u. BRÜMMER 1977, MIHM et al. 1976) festgestellte Zusammenhang zwischen feinen Korngrößen und Schwermetallanreicherungen ist im Untersuchungsgebiet nicht generell konstatierbar. Einerseits zeigt die Horloff bei überwiegend feinen Korngrößen im Mittel- und Unterlauf nur geringe Anreicherungsraten, während Nidda und Wetter bei ähnlicher Korngrößenzusammensetzung hohe

Anreicherungsraten aufweisen. Die höchsten Verschmutzungsgrade sind andererseits in den sandigen Bettsedimenten der untersten Usa zu finden. Dieses Bild wird auch durch die Regressionsanalyse bestätigt. Diese erbringt bei Berücksichtigung unkontaminierter Sedimente für Chrom ($r = 0.66$) (s.a. ABDUL-RAZZAK 1974) und Nickel ($r = 0.52$) eine Affinität zur Sandfraktion. Die übrigen untersuchten Elemente zeigen zwar den von LICHTFUSS u. BRÜMMER (1977) festgestelllten Trend zum Schluff und Ton. Er ist jedoch nicht signifikant ausgeprägt.

8. Diskussion der Ergebnisse

8.1 Vergleich mit Untersuchungen aus anderen Flußgebieten

Eine vergleichende Betrachtung von Schwermetalluntersuchungen stößt auf mannigfache Schwierigkeiten, die hauptsächlich in der fehlenden Standardisierung von Probennahme, Probenaufbereitung (chemisch wie physikalisch) und der häufig nicht vorgenommenen Backgrounddefinition liegen (vgl. a. LITHERATY 1978).

Die verschiedenen Probeentnahmefethoden führen beispielsweise dazu, unterschiedlichste Ablagerungsarten miteinander zu vermengen und schließlich unter dem Begriff Sediment zu bearbeiten.

Dies wird teilweise dadurch egalisiert, daß die meisten Autoren nur bestimmte Fraktionen - meist die Tonfraktion - auf Spurenelemente untersuchen. Dadurch werden zwar einerseits korngößenbedingte Schwankungen unterdrückt, andererseits läßt sich auf diese Weise nur schwer ein Gesamtbild der Sedimentbelastung gewinnen, da der Anteil der untersuchten Fraktion an der Gesamtprobe nicht angegeben wird und orientierende Untersuchungen über die Spurenelementverteilung in den übrigen Kornfraktionen nur von wenigen Autoren (z.B. PATCHINEELAM 1975) gemacht werden.

Bei der Backgroundfestlegung greift o.g. Autorengruppe folgerichtig auf den von TUREKIAN u. WEDEPOHL 1961 (zit. nach FÖRSTNER u. MÜLLER 1974) aufgestellten Tongesteinsstandard zurück. Dieses Verfahren ist m.E. jedoch nur für große Einzugsgebiete brauchbar. Bei mittleren und kleinen Flußgebieten können, wie für das Niddagebiet gezeigt, die tatsächlichen Backgroundwerte stark differieren.

Aus diesen Überlegungen ergibt sich, daß ein Vergleich der in Tab. 10 dargestellten Anreicherungsfaktoren nur eingeschränkt möglich ist. Bezogen auf die einzelnen Elemente läßt sich dennoch folgendes festhalten:

Tab. 10 Anreicherungs-faktoren der niedrigsten, mittleren und höchsten Schwermetallgehalte in den Flüssen des Niddasystems und in Gewässern vergleichbarer Größenordnung (zum Vergleich die entsprechenden Werte für den Unterrhein). Bezugspunkte für die Berechnung der Anreicherungs-faktoren sind entweder der Tongesteinsstandard (T) nach TUREKIAN u. WEDEPOHL (zit. n. FÖRSTNER u. MÜLLER 1974) oder von den jeweiligen Autoren definierte Regionalstandards (R).

Fluß	Blei min Ø max	Chrom min Ø max	Kupfer min Ø max	Nickel min Ø max	Zink min Ø max	Stan- dard	Autor
Trave	28	1.8	15	1.8	17	R	LICHTFUSS u. BRÜMMER 1977
Eider	23	1.5	9.5	2.0	14	R	" "
Schwentine	2.4	0.9	2.7	0.9	2.4	R	" "
Leine	5.7 14.6	n.b	2.7 4.0	1.4 1.6	4.6 10.7	T	ABO-RADY 1977
Vorstau- becken Wahnbach- talsp.	10.0	0.3	0.6	n.b	n.b	T	MIHM et al. 1976
Oker	41 72 131	n.b	7 11 15	1.5 2 2	61 76 99	T	BAUMANN et al. 1977
Eichelbach	1 3 12	2 2 3	2 2 2	3 3 3	2 3 6	R	
Horloff	1 2 5	2 3 6	1 1 2	1 4 11	1 2 5	R	
Nidda	0.8 6 13	1 2 3	1 2 4	1 5 12	1 5 11	R	
Nidder	1 5 14	1 2 3	1 2 2	1 4 6	1 4 10	R	
Seemenbach	3 6 15	1 2 4	1 2 4	1 3 7	2 3 4	R	
Usa	1 9 28	2 2 3	1 2 2	2 3 5	1 6 13	R	
Wetter	1 8 18	2 3 5	1 3 4	4 5 13	1 9 17	R	
Unterrhein	4 18 28	2 5 14	3 6 9	1 3 6	5 13 21	T	FÖRSTNER u. MÜLLER 1974

- BLEI Die durchschnittlichen Anreicherungsfaktoren für dieses Element liegen im Niddasystem verhältnismäßig niedrig, obwohl im Unterlauf von Usa und Wetter den Rheinsedimenten vergleichbare Belastungsgrade erreicht werden. Für
- CHROM liegt im Niddasystem, wie auch in vielen anderen Gewässern, keine nennenswerte Anreicherung vor. Für
- KUPFER sind die Anreicherungsfaktoren in den Sedimenten des Niddasystems vergleichbar mit denen in den Sedimenten von Leine und Schwentine, während in den anderen aufgeführten Gewässern - mit Ausnahme des Wahnbachs - erheblich höhere Anreicherungs-raten erreicht werden.
- NICKEL Die im Gegensatz zu den hier aufgeführten Gewässern hohen Anreicherungs-raten im Niddasystem sind wahrscheinlich nicht echt, da, wie in Kap. 6.4.3 schon angedeutet, die berechneten Background-werte für dieses Element häufig zu niedrig liegen dürften.
- ZINK Auch für dieses Spurenelement sind die Anreicherungs-raten im Niddasystem vergleichbar mit denen in den Sedimenten von Leine und Schwentine. Lediglich die Unterlaufbereiche von Usa und Wetter nähern sich in ihren Verschmutzungsgraden dem des Rheins, der Trave und der Eider an.

Zusammenfassend bleibt festzuhalten, daß im Vergleich der Anreicherungs-raten der untersuchten Metalle die Flüsse des Niddasystems mit Ausnahme der Unterläufe von Usa und Wetter zu den verhältnismäßig wenig mit Schwermetallen belasteten Gewässern der Bundesrepublik Deutschland gehören.

8.2 Quellen erhöhter Schwermetallgehalte im Sediment

Aufgrund der in den vorangegangenen Kapiteln dargestellten Ergebnisse beschränken sich die Ausführungen dieses Abschnittes auf die nicht natürlichen Quellen von Blei, Cadmium, Kupfer und Zink, da nur diese Metalle im Untersuchungsgebiet in über dem natürlichen Background liegenden Konzentrationen vorkommen. Die Literatur nennt für den anthropogenen Anteil einzelner Metalle folgende Quellen:

BLEI wird hauptsächlich durch Regenabschwemmungen aus Siedlungsgebieten und von Verkehrsflächen in das Gewässer eingebracht und aufgrund seines spezifischen Verhaltens oft in unmittelbarer Nähe der Emissionsstelle abgelagert (HELSEL et al. 1979, MEISCH et al. 1978, ROLFE u. JENNET in KRENKEL 1975). Weitere Emissionsquellen sind Kommunalabwässer (FÖRSTNER u. STIEFEL 1978) sowie u.a. die Papier- und Metallindustrie (FÖRSTNER u. WITTMANN 1979).

Im Niddagebiet sind hauptsächlich die beiden erstgenannten Emissionsquellen vertreten. Zwar sind die extremen Bleianreicherungen in der unteren Usa und mittleren und unteren Wetter mit hoher Wahrscheinlichkeit auf Kommunalabwässer zurückzuführen, doch bestätigen andererseits die starken Anreicherungsraten im Seemenbach unterhalb der in Flußnähe gelegenen Flugplatz- und Kasernenflächen bei Büdingen, hohe Blei-gehalte in Auenböden in unmittelbarer Straßennähe (s. Kap. 5.2.2) sowie ein Anstieg der Anreicherungs-raten von Blei in der Wetterau proportional zur Zunahme der Verkehrsflächen die in anderen Flußgebieten gemachten Beobachtungen. Auch die in Tab.11 (s. Kap. 8.4) dargestellten Korrelations-koeffizienten für die Beziehungen zwischen Blei und den abwassercharakterisierenden Wasserinhalts-

stoffen Natrium, Chlorid und der elektrolytischen Leitfähigkeit belegen, daß die Bleianreicherungen in den Sedimenten nicht vorrangig Kommunalabwässern entstammen. Diese Quelle trifft jedoch laut der hohen Korrelationskoeffizienten in o.g. Tabelle auf

CADMIUM, KUPFER und ZINK zu. Dies deckt sich exakt mit den Angaben der Literatur (FÖRSTNER 1978, FÖRSTNER u. MÜLLER 1974).

Weitere Quellen für Schwermetallanreicherungen im Gebiet der Wetterau dürften in der intensiven landwirtschaftlichen Nutzung sowie örtlich im Bereich der unteren Usa und Wetter Mineralwässer sein, deren Bleigehalte die von geklärten Abwasser teilweise beträchtlich überschreiten können (s. Tab. 12, Kap. 8.4).

8.3 Gedanken zur Remobilisierbarkeit von Schwermetallen aus dem Sediment.

Neben der Frage der Schwermetallanreicherung in Sedimenten, die als Endprodukt einer Immobilisierung aus der gelösten Phase steht, ist die Frage nach der Remobilisierung von Metallen für die Beurteilung potentieller Gefahren, die sich aus einer Überschreitung des Selbstreinigungspotentials des Gewässers ergeben, von ausschlaggebender Bedeutung. Ihr soll in diesem Kapitel für die gegenüber dem natürlichen Background angereichert vorkommenden Metalle Blei, Kupfer und Zink nachgegangen werden.

Bezüglich der bevorzugten Bindungsarten der angesprochenen Metalle sei an die Ausführungen der Kap. 4.3.4 und 6.4.1 erinnert. Daraus ergibt sich in Übereinstimmung mit der Literatur (NEUMAYR 1979, PATCHINEELAM 1975), daß wegen der Hauptbindungsarten, unter der Prämisse, dem Begriff Remobilisierung alle Bindungsarten mit Ausnahme der mineralischen unterzuordnen, Blei und Zink vollständig

und Kupfer zu großen Teilen potentiell remobilisierbar sind.

Zu den schwermetallremobilisierenden Mechanismen zählen nach FÖRSTNER (1978:47) im wesentlichen folgende Prozesse (vgl. a. HELM in KRENKEL 1975, NEULAND et al. 1978, PATCHINEELAM 1977, TESSIER et al. 1978):

1. Erhöhte Salzkonzentrationen, wobei Kationenkonkurrenz zu den in Sorptionspositionen befindlichen Metallionen auftritt. Dieser These widersprechen REICHERT u. GRUBER (1978), die belegen, daß bei Chloridkonzentrationen ab 200ppm in Lösung befindliche Schwermetalle ausgefällt werden.

Die Verhältnisse in der Usa, wo bei hohen Salzkonzentrationen extreme Schwermetallgehalte in den Sedimenten auftreten, bestätigen diese Ergebnisse.

2. Reduzierendes Milieu bedingt durch fortgeschrittene Eutrophierung bewirkt eine Auflösung der Eisen- und Manganhydroxide, was wiederum zur Freisetzung von darin festgehaltenen Schwermetallen führt.

Dieser Vorgang könnte die in der unteren Horloff im Vergleich zur Wasserqualität niedrigen Anreicherungs-raten erklären. Demnach werden hier infolge der häufig herrschenden reduzierenden Bedingungen sowie der hohen Phosphor- und Stickstoffgehalte (SCHREIBER 1976) erhebliche Teile der ins Sediment gelangenden Metalle wieder remobilisiert. Diese werden in der Nidda bei stark verbesserten Redoxbedingungen ausgefällt, was zum Teil die im Verhältnis zur Wasserqualität hohen Anreicherungs-raten in der Nidda unterhalb der Horloffmündung erklären würde. Das davon auch ein beträchtlicher Teil aus Usa und Wetter stammt, belegt die mineralogische Zusammensetzung besagter Sedimente (s. Kap. 6.2).

3. Zunehmender Eintrag natürlicher und synthetischer Komplexbildner führt zur Metallremobilisation und Einbindung der gelösten Metalle in wasserlösliche

Komplexe (FÖRSTNER u. WITTMANN 1979). Inwieweit dieser Vorgang im Niddagebiet von Bedeutung ist, läßt sich beim derzeitigen Kenntnisstand nicht abschätzen.

Letztlich sei noch darauf verwiesen, daß die Schwermetallgehalte der Makrophyten, die, wenn auch wohl nur zu einem geringen Teil, aus den Sedimenten herrühren, beim Absterben der Population freigesetzt und damit dem Wasserkörper erhöhte Metallgehalte zugeführt werden.

8.4 Überlegungen zum Schwermetallgehalt des Wassers

Die Untersuchungen von HILGENDORF (1979, s.a. HILGENDORF u. BRINKMANN 1980) über die Makrophyten des Niddasystems sowie die im Rahmen des o.g. IHP-Forschungsprojektes vorgenommenen Wasseruntersuchungen im gesamten Niddasystem ermöglichen es, analog des u.a. von FÖRSTNER u. MÜLLER (1974) sowie YEDELIER (1977) festgestellten Zusammenhanges von Schwermetallgehalten im Wasser mit dem in Makrophyten und Sedimenten, Überlegungen zur durchschnittlichen Schwermetallbelastung des Flußwassers anzustellen. (An dieser Stelle möchte ich Herrn Hilgendorf für das Überlassen bislang noch unveröffentlichter Daten über die Schwermetallgehalte der Makrophyten des Niddasystems danken. Auch Herrn Prof. Dr. Brinkmann schulde ich Dank für die Erlaubnis, auf Ergebnisse der Wasseruntersuchungen zurückgreifen zu dürfen).

Da im Rahmen der Wasseruntersuchungen keine Schwermetallbestimmungen vorgenommen wurden, muß über einen Umweg auf die durchschnittlichen Schwermetallgehalte des Wassers geschlossen werden. Bei der zur Verfügung stehenden Datenkonstellation bietet sich dazu folgender Gedankengang an:

1. Kommunalabwässer sind neben Straßenabspülungen Hauptursache der Schwermetallanreicherung in den Flußsedimenten des Niddasystems.
2. Die Abwässer sind u.a. durch hohe P^- , Na^+ , Cl^- - und $LF20^-$ Werte charakterisiert (vgl. a. MATTHESS 1976).
3. Während Sedimente den Gewässerzustand über einen längeren Zeitraum hinweg widerspiegeln (ZÜLLIG 1956), sind in Makrophyten wegen ihrer begrenzten Lebensdauer nur kurze Zeitspannen konserviert. Das bedeutet, daß ihre Stoffgehalte Indizien für die aktuelle kontinuierliche Gewässerbelastung sind.
4. Die Untersuchungen von HILGENDORF (1979) belegen für das Niddasystem die von anderen Autoren (z.B. ABO-RADY 1977, FRIANT 1979) gemachte Feststellung, daß submerse Makrophyten höhere Stoffanreicherungen als semiaquatische aufweisen. Das beweist, daß die Stoffaufnahme vorwiegend über die grüne Masse aus dem Wasser und nur geringfügig über die Wurzeln aus dem Sediment erfolgt.

Die in Tab. 11 dargestellten Korrelationsberechnungen zeigen als Folge o.g. Prämissen folgende Zusammenhänge:

1. Zwischen den Natrium- und Chloridgehalten sowie der elektrolytischen Leitfähigkeit des Wassers und den aufgeführten Schwermetallgehalten der Sedimente besteht eine gute Korrelation. Für anthropogen bedingtes Zink, dessen Quelle fast ausschließlich Kommunalabwässer sind, ist der Zusammenhang am deutlichsten, während er für Blei und mehr noch für Kupfer nicht so eng ist. Das beruht beim Blei auf der Hauptherkunft aus Benzinadditiven, die über Straßenabspülungen in das Gewässer gelangen. Kupfer ist nicht in dem gleichen Umfang angereichert wie die vorgenannten Elemente, was sich in einem niedrigen Korrelationskoeffizienten dokumentiert.
2. Gute bis noch brauchbare Korrelationen bestehen auch zwischen Natrium und Chlorid im Wasser und Natrium, Kupfer und Zink in den Makrophyten sowie

TAB 11: KORRELATIONSKOEFFIZIENTEN "R" FÜR VERSCHMUTZUNG ANZEIGENDE STOFFE IN WASSER, MAKROPHYTEN (* = POTAMOGEION SPEC.) UND SEDIMENT. IM UNTEREN ABSCHNITT DES DIAGRAMMS SIND DIE KOEFFIZIENTEN MIT EINER IRRTUMSWAHRSCHEINLICHKEIT VON <5% (...), <1% (-) UND <0.1% (=) DARGESTELLT.

	WASSER					MAKROPHYTEN *					SEDIMENT				
	P	NA	CL	LF20	P	NA	CU	7N	C	P	CU	PB	ZN		
P	1	.441	.331	.481	.241	.221	.641	.391	.511	.281	.661	.201	.361		
W	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
A	NA	1	.441	.901	.981	.411	.521	.171	.571	.301	.301	.621	.741	.901	
S	1	...	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
S	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
E	CL	1	.981	.981	.561	.701	.141	.621	.261	.631	.561	.761	.981		
R	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
	LF20	.481	.981	.981	.881	.621	.121	.571	.321	.681	.641	.781	.971		
	1	...	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
B	P	1	1	.381	.521	.111	.111	.161	.021	.111	.321	.571			
A	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
K	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
K	NA	1	1	.561	.621	1	.651	.021	.121	.351	.351	.171	.611		
Q	1	1	...	...	1	1	1	1	1	1	1	1			
P	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
H	CU	1	.641	.701	1	.651	.631	.391	.011	.011	.141	.131			
Y	1	1	1	1	1	...	1	1	1	1	1	1			
T	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
E	ZN	1	.571	.601	1	.631	.081	.651	.381	.781	.631				
N	1	1	...	...	1	1	...	1	1	1	1	1			
	C	1	.511	1	1	1	1	1	.501	.671	.041	.231			
	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
S	P	1	1	.631	.681	1	1	.651	.501	1	.571	.411	.681		
E	1	1	1	1	1	1	...	1	1	1	1	1			
L	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
I	CU	1	.661	.621	.561	.641	1	1	.671	.571	1	.221	.701		
M	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
E	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
N	PB	1	.741	.701	.781	1	1	.781	1	.411	.221	1	.451		
I	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
	1	1	1	1	1	1									

ANZAHL DER IN DIE BERECHNUNG EINGEGANGENEN WERTE :

WASSER : DURCHSCHNITTSWERTE EINER 2-JÄHRIGEN MESSREIHE AN 24 STATIONEN
 MAKROPHYTEN : 11 PROBEN (= AUSWAHL VON O.G. MESSSTELLEN)
 SEDIMENT : DURCHSCHNITTSGEHALTE AN O.G. 24 MESSSTELLEN

3. Zwischen Natrium und Zink in den Makrophyten und den Zinkanreicherungen in den Sedimenten.

Aus diesen Punkten resultiert, daß in Flußbereichen mit starken Zinkanreicherungen in den Sedimenten auch mit erhöhten Zink-, Kupfer- und Bleigehalten im Flußwasser zu rechnen ist, deren Quelle Kommunalabwässer sind.

Hiervon sind die folgenden Flußabschnitte betroffen, in denen lt. Abb.13 die o.g. Metalle in den Sedimenten mäßig bis extrem angereichert sind:

Die gesamte Wetter ab Laubach, die Usa ab Friedberg, die Nidder unterhalb Windecken und die Nidda ab Florstadt.

In diesen Bereichen sollte das Flußwasser wegen der Gefahr erhöhter Schwermetallkonzentration vor allem nicht während der Niedrigwasserperioden, wie heute leider häufig beobachtet, als Bewässerungswasser verwendet werden.

Tab.12 Spurenelementanreicherungsraten in Mineralwässern der Wetterau und in biologisch geklärtem und ungeklärtem Abwasser zur Basis der durchschnittlichen Schwermetallkonzentration unbelasteter Fließgewässer (Deutsche Forschungsgemeinschaft 1972)

	Cu	Ni	Pb	Zn
Mineralwässer (SCHARPFF 1972)	1-50	1-4	1-40	1.6-440
geklärtes Abwasser (ABO-RADY 1977)	2	7	1	5
ungeklärtes Abwasser (KRIETER u. MAQSUD 1977)	20000	20000	25000	-

Dies gilt umso mehr, als sich während dieser Perioden auch der im Bereich der unteren Usa und Wetter vorhandene Mineralwassereinfluß stark bemerkbar macht. Die Spurenmetallgehalte dieser Wässer sind zwar voneinander sehr verschieden, liegen jedoch, wie Tab. 12 zeigt, oft noch über den Schwermetallkonzentrationen biologisch geklärter Abwässer.

8.5 Die Bedeutung der Schwermetallanreicherungen in den Sedimenten für die Nutzung der Talauen

8.5.1 Auswirkungen von Schwermetallanreicherungen in Hochwassersedimenten auf die Nutzung von Hochwasserrückhaltebecken und anderen Überflutungsbereichen

Nach der letzten Regulierung der Nidda (Kap. 3.5) verblieben im Untersuchungsgebiet noch folgende hochwassergefährdete Gebiete, deren Ausdehnung dem Kartenband des Wasserwirtschaftlichen Rahmenplans Nidda (Hess. Min. f. Landw. u. Forsten 1968) zu entnehmen ist:

1. Die gesamte Wetter unterhalb Pegel Münster, wobei das als Hochwasserrückhaltebecken projektierte im Auenbereich oberhalb von Lich befindliche Gebiet die größte zusammenhängende Fläche darstellt. Überwiegend werden die Überschwemmungsgebiete als Weideland benutzt (HALM 1979), doch befinden sich auch stellenweise Kleingartenanlagen mit Intensivkulturen von Salat und Gemüse im Überflutungsbereich. Hier ist die Gefahr der Schwermetallaufnahme durch den Menschen am größten, da diese Kulturen die Spurenmetalle bevorzugt in den Blättern anreichern. Bei der Weidenutzung tritt der Tierorganismus als Zwischenträger auf, was die Gefahr für den Menschen reduziert (VETTER et al. 1979).
2. Die gesamte Nidder unterhalb der Seemenbachmündung. Überwiegende Weidenutzung sowie im Vergleich zur Wetter bedeutend geringere Anreicherungsraten bedeuten derzeit wohl keine Gefahr für den Menschen.
3. Das Hochwasserrückhaltebecken zwischen Büdingen und Seemenbachmündung, in dessen vorwiegend agrarischer Nutzung in Verbindung mit den erhöhten Blei- und Zinkgehalten in den Hochwassersedimenten eine potentielle

Gefahr für tierische und menschliche Organismen zu sehen ist.

8.5.2 Erforderliche Maßnahmen zur Verringerung der Schwermetallgehalte in den Sedimenten

In Anbetracht des Emissionscharakters - punktförmige Einleitung von Zink und Kupfer gegenüber vorwiegend flächenhaftem Eintrag von Blei - der anthropogen eingebrachten Schwermetalle, ergeben sich für eine in den Sedimenten allerdings erst mittel- bis langfristig bemerkbare Verringerung der Anreicherungsraten einige notwendige Maßnahmen.

So wird die Verdichtung des vorhandenen Kläranlagen-netzes im Untersuchungsgebiet bei gleichzeitiger Verbesserung der Kläreffizienz, die, wie die Untersuchungen von HALM (1979) ergaben, vor allem bei älteren Anlagen als Folge permanenter Überlastung oftmals sehr zu wünschen übrig läßt, zu einer erheblichen Verringerung des Metalleintrags ins Gewässer führen.

Wie hoch der Nutzen dieser Maßnahme anzusetzen ist, zeigt das Beispiel der unteren Nidder, deren Wasserqualität sich innerhalb eines Jahrzehnts infolge des konsequenten Baus von Abwasserreinigungsanlagen entscheidend verbessert hat (SCHREIBER 1976). Die im Vergleich zu den Unterläufen der übrigen untersuchten Flüsse niedrigeren Anreicherungs-raten für Kupfer und Zink in den Sedimenten der unteren Nidder sind m.E. ebenfalls ein Ergebnis dieser Maßnahme.

Maßnahmen zur Verringerung des flächenhaften Schwermetalleintrages sind insofern schwer realisierbar, als sie i.d.R. mit einem hohen Kostenaufwand verbunden sind. So kann beispielsweise die Bleizufuhr aus Verkehrsflächen nur durch eine Kanalisierung mit entsprechend dimensionierten Regenüberlaufbecken bei gleichzeitig ausreichender Kläranlagenkapazität entscheidend reduziert werden.

Doch auch Maßnahmen wie ein generelles Autowasch-

verbot an Flüssen, eine intensive Verfolgung von Umweltdelikten (während der Flußbegehungen wurden an vielen Stellen Fahrrad- und Motorradrahmen, Kühlschränke, Waschmaschinen, Herde, Fässer u.ä.m. in den Flüssen vorgefunden) und Reduzierung der von der Landwirtschaft ausgebrachten Düngergaben könnten zu einer merklichen Verringerung des Schwermetalleintrags führen.

Bezüglich einiger der im Untersuchungsgebiet angesiedelten Industriebetriebe, die mit ihren spezifisch zusammengesetzten Abwässern akute Probleme für bestehende und potentielle für geplante bzw. im Bau befindliche Kläranlagen darstellen, gilt es zu überlegen, wie die auf diese Betriebe zurückzuführende Gewässerbelastung minimiert werden kann, ohne in dem strukturschwachen Raum die Existenz der Unternehmen zu gefährden. Dies betrifft z.Zt. hauptsächlich einige Betriebe im Raum Nidda (Holz-, Metall- und Papierverarbeitung, Molkerei), im Gebiet von Hungen (Textilindustrie, Molkerei), die gesamte Wetter ab Laubach (Holz-, Metall-, Textil- und Gummiindustrie, Molkereien s. HALM 1979) sowie den Einzugsbereich der Kläranlage unterhalb von Usingen.

9. Zusammenfassung

Bett- und Hochwassersedimente aus den Flüssen des Nidda-systems, Ablagerungen aus Hochwasserrückhaltebecken und Talsperren, Aueböden und einzelne Gesteinsproben wurden sedimentpetrographisch und -chemisch untersucht mit dem Ziel einer Beurteilung der Belastung des aquatischen Ökosystems durch toxische Schwermetalle.

Grundlage der Betrachtungen war die rechnerische Ermittlung des natürlichen Schwermetallbackgrounds, der aufgrund der unterschiedlichen geologischen Ausgangssubstrate regional variiert. Der Vergleich dieser Werte mit den tatsächlichen Spurenmetallgehalten der Sedimente ergab, daß Blei, Cadmium, Kupfer und Zink angereichert vorkommen, wobei die höchsten Raten in der unteren Usa erreicht werden, gefolgt von Wetter und Nidda.

Unter den Hochwassersedimenten, bei denen die o.g. anthropogen angereicherten Schwermetalle starken Schwankungen unterworfen sind, während die übrigen Elemente sich in jeweils einem Wertebereich konzentrieren, weisen die Ablagerungen von Sommerhochwässern nach Starkregen die höchsten Anreicherungsraten auf.

Hauptquellen der anthropogen bedingten Schwermetallzufuhr sind Kommunalabwässer (Cadmium, Kupfer, Zink und eingeschränkt Blei), Abspülung von Verkehrsflächen (Blei) und Einträge aus der Landwirtschaft.

Eine mittels Regressionsanalyse vorgenommene vergleichende Betrachtung der Schwermetallanreicherungen in Sedimenten und Makrophyten sowie abwasserspezifischer Elemente des Flußwassers ergab, daß in weiten Bereichen von Wetter, Nidda und unterer Usa mit erhöhten Schwermetallkonzentrationen im Wasser zu rechnen ist. Aus der Tatsache, daß in den betroffenen Gebieten vor allem während der sommerlichen Niedrigwasserperioden Bewässerungswasser entnommen wird, ergibt sich die Notwendigkeit spezieller Untersuchungen auf o.g. Schwermetalle, um eine Gefährdung durch zu hohe Metallgehalte in den bewässerten Kulturen auszu-

schließen.

Eine potentielle Gefahr für den Menschen liegt in der Acker- oder Gartennutzung der hochwassergefährdeten Zonen der Wetter und des Hochwasserrückhaltebeckens am Seemenbach, da die angebauten Kulturen in Sedimenten mit hohen Blei-, Zink-, Cadmium- und Kupferkonzentrationen wurzeln.

Die Frage nach der Remobilisierbarkeit von Schwermetallen aus den Sedimenten ergab, daß aufgrund der in der mittleren und unteren Horloff vorherrschenden Milieubedingungen möglicherweise Remobilisation in größerem Ausmaß stattfindet, während in den Unterläufen von Usa und Wetter extreme Salzkonzentrationen sowie in der Nidda überwiegend oxidierendes Milieu zu verstärkter Metallfestlegung in den Sedimenten führt.

Der Vergleich mit Untersuchungen an Flüssen gleicher Größenordnung erbrachte, daß die Flüsse des Niddasystems mit Ausnahme der Unterläufe von Usa und Wetter zu den verhältnismäßig wenig mit Schwermetallen belasteten Flüssen der Bundesrepublik Deutschland zu zählen sind. Eine Verbesserung des derzeitig örtlich schlechten Zustands liegt in einer umfassenden Abwasserbehandlung durch Verbesserung und Erweiterung des derzeitigen Kläranlagennetzes. Diese Maßnahme würde zumindest die Cadmium-, Kupfer- und Zinkbelastung stark, die Bleikonzentration jedoch weniger stark beeinflussen, da diese überwiegend anderen Quellen entstammt.

10. Literaturverzeichnis

- ABADIAN, H.(1976): Mineralbestand, Schwermetallgehalt und Sorptionsvorgänge in Sediment, Schweb und Wasser des oberen Neckars. 73.S.; Diss. Tübingen.
- ABDUL-RAZZAK, A.K. (1974): Geochemisch-sedimentpetrographischer Vergleich lakustrischer Sedimente aus verschiedenen Klimabereichen. - Chem. Erde 33:152-187; Jena.
- ABO-RADY, M.D.K. (1977): Die Belastung der oberen Leine mit Schwermetallen durch kommunale und industrielle Abwässer - ermittelt anhand von Wasser-, Sediment-, Fisch- und Pflanzenuntersuchungen. 120S.; Diss. Göttingen.
- ALLEN, S.E. et al. (1974): Chemical analysis of ecological materials. 575S.; Oxford.
- BACCINI, P. (1976): Untersuchungen über den Schwermetallhaushalt in Seen.-Schweiz. Z. Hydrol. 38:121-158; Basel.
- BANAT, K. (1973): Geochemisch-sedimentpetrographische Untersuchungen an Flüssen innerhalb der Bundesrepublik Deutschland, unter besonderer Berücksichtigung der Belastung mit umweltgefährdenden Schwermetallen. 210S.; Diss. Heidelberg.
- BANAT, K., FÖRSTNER, U. u. G. MÜLLER (1972): Schwermetalle in den Sedimenten des Rheins. - Umschau in Wiss. u. Techn. 72:192-193; Frankfurt.
- BARTELT, D. u. U. FÖRSTNER (1977): Schwermetalle im stau-geregelten Neckar - Untersuchungen an Sedi-menten, Algen und Wasserproben.-Jber. Mitt. oberrhein. geol. Ver., N.F. 59:247-263; Stuttgart.

- BAUMANN, A. et al. (1977): Hohe Schwermetallgehalte in Hochflutsedimenten der Oker (Niedersachsen). - Deutsche Gewässerkl. Mitt. 21:113-117; Koblenz.
- BEER, K. (1966): Untersuchungen über Vorkommen und Bindungszustand des Mangans in typischen Thüringer Böden. - Chem. Erde 25:282-299; Jena.
- BEUTEL, P. et al. (1978): SPSS7. Statistik-Programmsystem für die Sozialwissenschaften. 276S.; Stuttgart, New York.
- BIBUS, E. (1971): Zur Morphologie des südöstlichen Taunus und seines Randgebietes. - Rhein-Mainische Forsch. 74, 279S.; Frankfurt.
- BIBUS, E. (1975): Eigenschaften tertiärer Flächen in der Umrahmung der nördlichen Wetterau (Taunus- und Vogelsbergtrand). - Z. Geomorph. N.F., Suppl. Bd.23:49-61; Berlin, Stuttgart.
- BIBUS, E. (1976): Pliozän und Quartär der Wetterau und ihrer Randgebiete. - Rhein-Mainische Forsch. 82:17-42; Frankfurt.
- BILINSKI, H. et al. (1974): Kupfer und Blei in natürlichen Gewässern. - Vom Wasser 43:105-116; Weinheim.
- BLANCK, E. u. R. MELVILLE (1940-42): Untersuchungen über die rezente und fossile Verwitterung der Gesteine innerhalb Deutschlands, zugleich ein Beitrag zur Kenntnis der alten Landoberflächenbildung der deutschen Mittelgebirgsländer. - Chem. Erde 13:99-191, 235-315, 14:1-106; Jena.
- BLATT, H. (1978): Sediment dispersal from Vogelsberg Basalt, Hessen, West Germany. - Geol. Rdsch. 67:1009-1015; Stuttgart.

- BOENIGK, W. et al. (1977): Jungtertiär und Quartär im Horloff-Graben/Vogelsberg. - Geol. Abh. Hessen 75, 80S.; Wiesbaden.
- BORNEFF, J. (1974): Metalle und Metalloide im Wasser (Beurteilung ihrer Bedeutung für den Menschen). - Zentralbl. f. Bakteriolog., Parasitenkde., Infektionskrankh. u. Hygiene, Reihe B 158:524-529; Stuttgart.
- BRINKMANN, W.L.F. u. M. SCHREIBER (1978): The effect of minimum discharge and submerged aquatic macrophytes on the quality and rate of particular suspended matter in the river Nidda system FRG. - Workshop on the assessment of particulate matter contamination in rivers and lakes, 17S.; Budapest.
- Bundesanstalt f. Gewässerkde. (1977): Ringanalyse Rheinsediment. Koblenz.
- DIEDERICH, G. u. K.-H. EHRENBURG (1977): Erläuterungen zur Geologischen Karte von Hessen 1:25000. Bl. 5721 Gelnhausen, 2. neu bearb. Aufl., 256S.; Wiesbaden.
- DITTER, P. (1976): Schwermetalle im Boden unter besonderer Berücksichtigung ihrer Verlagerung in den Gewässer (Literaturauswertung). - Mitt. Dtsch. Bodenkdl. Ges. 23:113-120; Göttingen.
- ECKHARDT, F.-J. (1960): Die Veränderung eines devonischen Tonschiefers durch die Mineralumwandlungen infolge tertiärer Zersetzung. - Z. deutsch. geol. Ges. 112:188-196; Hannover.
- EHRENBURG, K.-H. u. H. HICKETHIER (1978): Erläuterungen zur Geologischen Karte von Hessen 1:25000. Bl. 5620 Ortenberg, 351S.; Wiesbaden.

- ERFFA, A.v. (1970): Schwermineraluntersuchungen an rezenten und pleistozänen Sedimenten im Flußgebiet der Lahn bei Gießen. - Ber. Oberhess. Ges. f. Natur- u. Heilkde. Gießen, N.F. Naturwiss. Abt. 37:35-43; Gießen.
- ERNST, E. (1973): Usinger Land, eine Hochtaunuslandschaft. 295S.; Usingen.
- FABER, P. (1975): Schwermineraluntersuchungen im Rotliegenden der Wetterau (Hessen). - Notizbl. hess. L.-Amt Bodenforsch. 103:279-290; Wiesbaden.
- FACHGRUPPE WASSERCHEMIE (Hrsg.)(1960): Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung. 3. völlig neu bearb. Aufl., 8. Lief. 1979, Loseblattslg.; Weinheim.
- FASSBENDER, H.-W. u. E. AHRENS (1977): Laborvorschriften und Praktikumsanleitung zur chemischen Untersuchung von Vegetations-, Boden- und Wasserproben im Institut für Bodenkunde und Waldernährung der Universität Göttingen. - Göttinger Bodenkdl. Ber. 47:1-88; Göttingen.
- FÖRSTNER, U.(1973): Petrographische und geochemische Untersuchungen an afghanischen Endseen. - N. Jb. Min. Abh. 118:268-312; Stuttgart.
- FÖRSTNER, U. (1978): Metallanreicherungen in rezenten See-Sedimenten. Geochemischer Background und zivilisatorische Einflüsse. - Mitt. aus dem Tätigkeitsbereich der Arbeitsgruppe des Nationalkomitees der Bundesrepublik Deutschland für das Internationale Hydrologische Programm der UNESCO 2, 66S.; Koblenz.

FÖRSTNER, U. u. G. MÜLLER (1974): Schwermetalle in Flüssen und Seen als Ausdruck der Umweltverschmutzung. 225S.; Berlin, Heidelberg, New York.

FÖRSTNER, U. u. R. STIEFEL (1978): Umweltprobleme durch Metallanreicherungen in kommunalen Abwässern. - Chem. Ztg. 102:161-168; Weinheim.

FÖRSTNER, U. u. G.T.W. WITTMANN (1979): Metal Pollution in the Aquatic Environment. 486S.; Berlin, Heidelberg, New York.

FRIANT, S.L. (1979): Trace metal concentrations in selected biological sediment, and water column samples in a northern New England river. - Water, Air, and Soil Pollution 11:455-465; Dordrecht, Boston.

FRIES, J. u. H. GETROST (1977): Organische Reagenzien für die Spurenanalyse. 451S.; Darmstadt.

FRÖHLICH, F. (1960): Beiträge zur Geochemie des Chrom. - Geochim. cosmochimica Acta 20:215-240; London.

FÜCHTBAUER, H. u. G. MÜLLER (1977): Sedimentpetrologie II. Sedimente und Sedimentgesteine. 3. Aufl., 784S.; Stuttgart.

FUKAI, R. (1978): Intercalibration of Trace Element Measurements on Environmental samples - Problems in Measurements of River suspended Matter. - Workshop on the assessment of particulate matter contamination in rivers and lakes, 7S.; Budapest.

GRIFFATONG, M. u. H. HELLMANN (1973): Neue Untersuchungen zur Bestimmung von gelösten und ungelösten Schwermetallen in Gewässern durch Röntgenfluoreszenz. - Vom Wasser 40:69-87; Weinheim.

- GRIMME, H. (1967): Kupferverteilung in Parabraunerdeprofilen aus Löß. - Z. Pflanzenern. Bodenkde. 116:125-135; Weinheim.
- HABERER, K. u. S. NORMANN (1972): Metallspuren im Wasser - ihre Herkunft, Wirkung und Verbreitung. - Vom Wasser 38:157-182; Weinheim.
- HAHN, H. u. U. NEIS (1972): Differenzielle Aggregation verschiedener Trübstoffe in natürlichen Gewässern. - Vom Wasser 39:91-108; Weinheim.
- HALM, K. (1979): Zur Hydrogeographie der oberen Wetter: Herkunft, Art und Konzentration ausgewählter Wasserinhaltsstoffe. 116S., unv. Diplomarbeit; Frankfurt.
- HEIM, D. (1966): Petrographische Beiträge zur Paläogeographie des Buntsandsteins. - Notizbl. hess. L.-Amt Bodenforsch. 94:235-258; Wiesbaden.
- HELLMANN, H. (1970): Die Charakterisierung von Sedimenten auf Grund ihres Gehalts an Spurenmetallen. Deutsche Gewässerkdl. Mitt. 14:160-164; Koblenz.
- HELLMANN, H. (1971): Bestimmung von Metallen in Flußschlamm mit Hilfe der Röntgenfluoreszenz. Bedeutung für die Praxis. - Z. Anal. Chem. 254:192-195; Berlin.
- HELLMANN, H. (1972): Definition und Bedeutung des backgrounds für umweltschutzbezogene gewässerkundliche Untersuchungen.-Deutsche Gewässerkdl. Mitt. 16:170-174; Koblenz.
- HELLMANN, H. (1975): Anhaltspunkte für die Berechnung der Belastung von Vorflutern durch absetzbare Stoffe aus der Kanalisation. - Deutsche Gewässerkdl. Mitt. 19:51-54; Koblenz.

HELLMANN, H. u. A. GRIFFATONG (1969):

Die Absorption von Schwermetallen an den Schwebstoffen des Rheins - eine Untersuchung zur Entgiftung des Rheinwassers. - Deutsche Gewässerkd. Mitt. 14:42-47; Koblenz.

HELLMANN, H. u. A. GRIFFATONG (1972): Herkunft der

Sinkstoffablagerungen in Gewässern.-Deutsche Gewässerkd. Mitt. 16:14-18; Koblenz.

HELSEL, D.R. et al.(1979): Land use influences on metals

in storm dreinage. - J. WPCF 51:709-717; Paris.

HERMS, U. u. G. BRÜMMER (1979): Einfluß der Redoxbedingungen

auf die Löslichkeit von Schwermetallen in Böden und Sedimenten. - Mitteilgn. Dtsch. Bodenkdl. Ges. 29:533-544; Göttingen.

HERRMANN, A.G. (1975): Praktikum der Gesteinsanalyse.

204S.; Berlin, Heidelberg, New York.

Hessischer Minister für Landwirtschaft und Forsten (Hrsg.)

(1968): Wasserwirtschaftlicher Rahmenplan Nidda. 2 Bde., 158S.; Wiesbaden.

HILGENDORF, B. (1979): Artenspektrum, regionale Verteilung

und Stoffgehalt der Makrophytenvegetation im Niddasystem. 92S., unver. Diplomarbeit; Frankfurt.

HILGENDORF, B. u. W.L.F. BRINKMANN (1980): Artenspektrum,

regionale Verteilung und Stoffgehalt der Magrophyten-Vegetation im Flußsystem der Nidda (Hessen).-Verh. Ges. f. Ökologie 7:335-341; Göttingen.

HOFEDANK, R.-H.(1975): Untersuchungen zum Fließverhalten

von Wasser in Lockergestein und klüftigem Basalt. 174S.; Diss.; Gießen.

JUNGERMANN, K. (1960): Beiträge zu Mikronährstofffragen (I).
- Landwirtsch. Forsch. 13:153-167; Frankfurt.

Kanalverwaltung des Städtischen Tiefbauamtes (1914):
Denkschrift über die Regulierung der Nidda
innerhalb des Stadtkreises Frankfurt a.M.
vom Wehr zu Eschersheim bis zur Gemarkungs-
grenze Griesheim-Sossenheim. 108S.; Frankfurt.

KICK, H. et al. (1980): Gesamtgehalte an Pb, Zn, Sn, As,
Cd, Hg, Cu, Ni, Cr und Co in landwirtschaft-
lich und gärtnerisch genutzten Böden Nord-
rhein-Westfalens. - Landw. Forsch. 33:12-22;
Frankfurt.

KIESER, J. (1969): Geochemische Untersuchungen an Gesteinen
und darauf entwickelten Böden des Raumes
Thüringen. - Chem. Erde 28:210-291; Jena.

KOCH, O.G. u. G.A. KOCH-DEDIC (1974): Handbuch der
Spurenanalyse, Teil 1. 750S., 2. Aufl.;
Berlin, Heidelberg, New York.

KÖBRICH, C. (1937): Chronik des hessischen Berg-, Hütten-
und Salzwesens. - Handbuch der hessischen
Bodenschätze 7, 56S.; Darmstadt.

KRENKEL, P.A. (Hrsg.) (1975): Heavy Metals in the Aquatic
Environment. 352S.; Oxford.

KREUZER, G. et al. (1974): Petrologie und Kalium/Argon -
Daten einiger Basalte aus Bohrung 31, Rainrod I
(Vogelsberg). - Geol. Jb. D9:67-84; Hannover.

KRIETER, M. u. MAQSUD, N. (1977): Zur Belastung von
Grund- und Oberflächengewässer im Mainzer
Raum. - Geogr. Rdsch. 29:157-162; Köln.

KÜMMERLE, E. (1976): Erläuterungen zur Geologischen Karte
von Hessen 1:25000. Bl. 5618 Friedberg,
247S.; Wiesbaden.

- KURMIES, B. (1972): Zur Fraktionierung der Phosphate.
- Die Phosphorsäure 29:118-152; Weinheim.
- LICHTFUSS, R. u. G. BRÜMMER (1974): Röntgenfluoreszenz-analytische Bestimmungen von Schwermetallen in Böden und Sedimenten. - Mitt. Dtsch. Bodenkdl. Ges. 20:465-472; Göttingen.
- LICHTFUSS, R. u. G. BRÜMMER (1977): Schwermetallgehalte von Sedimenten schleswig-holsteinischer Fließgewässer (Elbe, Trave, Eider, Schwentine). - Mitt. Dtsch. Bodenkdl. Ges. 25:209-216; Göttingen.
- LICHTFUSS, R. u. G. BRÜMMER (1979): Geochemische Ausgangsgehalte von Schwermetallen in Sedimenten schleswig-holsteinischer Fließgewässer. - Mitt. Dtsch. Bodenkdl. Ges. 29:549-554; Göttingen.
- LITERATHY, P. (1978): Heavy metals and as in the particulate matter. - Workshop on the assessment of particulate matter contamination in rivers and lakes, 73S.; Budapest.
- MATTHESS, G. (1976): Umweltbelastungen des Grundwassers. - Schr. R. agrarwiss. Fb. Uni Kiel:48-50; Kiel.
- MATTHES, G. (1972): Bleigehalte im Gestein, Boden und Grundwasser. - Blei und Umwelt, Inst. Wasser-, Boden-, Lufthygiene:21-27; Berlin.
- MEISCH, H.-U. et al. (1978): Schwermetalle in Sedimenten der Saar. - Deutsche Gewässerkdl. Mitt. 22:2-8; Koblenz.

- MICHELS, F. (1977): Erläuterungen zur Geologischen Karte von Hessen 1:25000 - Blatt Nr. 5617 Usingen. 2. ergänzte Aufl., 92S.; Wiesbaden.
- MICHLER et al. (1980): Vertikale Verteilung von Metallen im Sediment eines Alpenvorlandsees als Zivilisationsindikatoren. - Arch. Hydrobiol. 88:24-44; Stuttgart.
- MIHM, U. et al. (1976): Die Bestimmung einiger Metalle und des Phosphats im Sediment der Wahnbachtalesperre. - Deutsche Gewässerkdl. Mitt. 20:47-51, 2 Abb., 3 Tab.; Koblenz.
- MOSEBACH, R. (1954): Zur petrographischen Kenntnis devonischer Dachschiefer. - Notizbl. hess. L.-Amt Bodenforsch. 82:234-246; Wiesbaden
- MÜLLER, G. (1967): Sedimentary Petrologie Part I, Methods in Sedimentary Petrologie. 283S.; Stuttgart.
- MÜLLER, G. (1977): Schadstoffuntersuchungen an datierten Sedimentkernen aus dem Bodensee II. Historische Entwicklung von Schwermetallen - Beziehung zur Entwicklung polycyclischer Kohlenwasserstoffe. - Z. Naturforsch. 32c:913-919; Tübingen.
- NAGEL, G. (1965): Beiträge zur Morphologie des Ronneburger Hügellandes. - Rhein-Mainische Forsch. 57, 61S.; Frankfurt.
- NEULAND, H. et al. (1978): Zur Änderung der Spurenmetallgehalte im fließenden Wasserkörper und in den Sedimenten entlang eines Flußabschnittes des Roten Mains in Abhängigkeit von Redoxpotential, pH und anderen Einflußgrößen. - CATENA 5:19-31; Braunschweig.

- NEUMAYR, V. (1979): Schwermetallspuren und Ursachen ihrer Verbreitung in Grundwässern an der Westküste von Schleswig-Holstein. 283S.; Diss. Kiel.
- PATCHINEELAM, S.R. (1975): Untersuchungen über die Hauptbindungsarten und die Mobilisierbarkeit von Schwermetallen in fluviatilen Sedimenten. 137S.; Diss. Heidelberg.
- POETSCH, T.J. (1975): Untersuchungen von bodenbildenden Deckschichten unter besonderer Berücksichtigung ihrer vulkanischen Komponenten. - Gießener Geol. Schr. 4, 180S.; Gießen.
- PRASHNOWSKI, A. (1957): Sedimentpetrographische und geochemische Untersuchungen im südlichen Rheinischen Schiefergebirge. - N. Jb. Geol. Paläont. Abh. 105:47-70; Stuttgart.
- REICHERT, J. K. u. H. GRUBER (1978): Untersuchungen zur Remobilisierung von Spurenmetallen in Rheinsedimenten. - Gewässerschutz, Wasser, Abwasser 29:135-156; Aachen.
- REICHMANN, H. (1968): Erläuterungen zur Bodenkarte von Hessen 1:25000. Bl. 5520 Nidda, 75S.; Wiesbaden.
- REINHARD, D. u. U. FÖRSTNER (1976): Metallanreicherungen in Sedimentkernen aus Stauhaltungen des mittleren Neckars. - N. Jb. Geol. Paläont. Mh.:301-320; Stuttgart.
- REINHARDT, E. et al. (1980): Zur Erkundung der phytotoxischen Wirkung von Zink, Kadmium und Kupfer auf *Elodea canadensis* MICHX. durch Erfassen der Deplasmolysezeit. - Acta hydrochim. hydrobiol. 8:149-160; Berlin.

- RIHM, H. u. B. ULRICH (1954): Quantitative kolorimetrische Bestimmung der organischen Substanz im Boden. - Landwirtsch. Forsch. 6:173-176; Frankfurt.
- RÖSSLER, H.J. u. H. LANGE (1976): Geochemische Tabellen. 2. stark überarb. u. erw. Aufl., 674S.; Stuttgart.
- ROHDE, R. (1970): Mineralogisch-sedimentpetrographische Untersuchungen an Sedimenten des Wahnbach-Stausees sowie an Böden und Gesteinen seines Einzugsgebietes. 50S.; Diss. Heidelberg.
- SCHARPENSEEL, H.W. u. H. BECKMANN (1975): Schwermetalluntersuchungen an terrestrischen, hydromorphen und subhydrischen Böden aus ländlichen sowie stadt- und industrienahen Bereichen. - Landwirtsch. Forsch. 28:128-134; Frankfurt.
- SCHARPFF, H.-J. (1972): Die Mineralwässer der Wetterau (Hessen). Hydrogeologische und hydrochemische Untersuchungen im Niederschlagsgebiet der Nidda. 256S.; Darmstadt.
- SCHEFFER, F. u. P. SCHACHTSCHABEL (1976): Lehrbuch der Bodenkunde. 9. neu bearb. Aufl. 394S.; Stuttgart.
- SCHLEICHERT, U. (1975): Schwermetallgehalte der Schwebstoffe des Rheins bei Koblenz im Jahresablauf. - Deutsche Gewässerkdl. Mitt. 19:150-157; Koblenz.
- SCHLICHTING, E. (1962): Mikronährstoffe in den Böden Deutschlands. - Landwirtsch. Forsch. 16:41-55; Frankfurt.
- SCHLICHTING, E. (1976): Cu, Co und Mo in Sesquioxid-Anreicherungs-horizonten. - Z. Pflanzenern. Bodenk. 139:223-228; Weinheim.

- SCHLICHTING, E. (1979): Schwermetallkonzentrierung in Naturstandorten. - Daten u. Dokumente zum Umweltschutz, 23:21-27; Hohenheim.
- SCHLICHTING, E. u. H.-P. BLUME (1966): Bodenkundliches Praktikum. 209S.; Hamburg, Berlin.
- SCHLICHTING, E. u. A.M. ELGALA (1975): Schwermetallverteilung und Tongehalte in Böden. - Z. Pflanzenern. Bodenkde. 124:563-571; Weinheim.
- SCHÖNHALS, E. (1954): Die Böden Hessens und ihre Nutzung. - Abh. hess. L.-Amt Bodenforsch. 2:1-288; Wiesbaden.
- SCHORER, G. (1970): Die tertiären Pyroxene des Vogelsberges. - Chem. Erde 29:70-138; Jena.
- SCHOTTLER, W. (1928): Erläuterungen zur geologischen Karte von Hessen 1:25000. Blatt Herbstein, 107S.; Darmstadt.
- SCHOTTLER, W. (1931): Erläuterungen zur Geologischen Karte von Hessen 1:25000, Blatt Ulrichstein. 107S.; Darmstadt.
- SCHRADER, L. (1976): Erläuterungen zur Bodenkarte von Hessen. 1:25000 Bl. 5619 Staden, 80S.; Wiesbaden.
- SCHRADER, L. (1978): Erläuterungen zur Bodenkarte von Hessen 1:25000. Bl. 5518 Butzbach, 119S.; Wiesbaden.
- SCHREIBER, M. (1976): Schwebstoffführung und Lösungsfracht der Nidda von Februar bis Juli 1976. 110S., unver. Staatsexamensarb.; Frankfurt.
- SCHRÖTER, W. et al. (1979): Chemie. 13. Aufl., 636S.; Leipzig.

- SCHULZE, W. (1959): Die Oberflächenformen des Vogelsberges. - Marburger Geogr. Schr. 13, 195S.; Marburg.
- SEEKAMP, G. (1977): Umsatz von Schwermetallen in Wald-Ökosystemen. - Göttinger Bodenkdl. Ber. 46:1-129; Göttingen.
- SINDOWSKI, K.H. (1957): Schüttungsrichtungen und Mineralprovinzen im westdeutschen Buntsandstein. - Geol. Jb. 73:277:294; Hannover.
- TESSIER, A. et al. (1978): Trace metal specification in aquatic sediments. - Workshop on the assessment of particulate matter contamination in rivers and lakes, 24S.; Budapest.
- THOMAS, F. (1968): Untersuchungen über die Bindung des Kupfers in sechs Böden unterschiedlicher geologischer Herkunft. - Chem. Erde 27:369-380; Jena.
- VETTER, H. et al. (1979): Schadstoffe in der Nahrungskette in der Nachbarschaft einer Blei- und Zinkhütte. - Daten und Dokumente zum Umweltschutz 23:35-59; Hohenheim.
- WALTER, H. (1974): Hydrogeologie und Wasserhaushalt im oberen Horlofftal, westlicher Vogelsberg. - Abh. Hess. L.-Amt Bodenforsch. 69, 104S.; Wiesbaden.
- WEDEPOHL, K.H. (1953): Untersuchungen zur Geochemie des Zinks. - Geochim. cosmochimica Acta 3:93-142; London.
- WEDEPOHL, K.H. (1956): Untersuchungen zur Geochemie des Bleis. - Geochim. cosmochimica Acta 10:79-148; London.

- WEDEPOHL, K.H. (1963): Beiträge zur Geochemie des Kupfers.
- Geol. Rdsch. 52:492-504; Stuttgart.
- WEDEPOHL, K.H. (1969): Handbook of Geochemistry. 5 Bde.;
Berlin, Heidelberg, New York.
- WIEGAND, K. (1977): Die geologischen, hydrogeologischen
und hydrochemischen Verhältnisse des Vogels-
berges (Hessen). - Geol. Jb. Hessen, 105:177-
184; Wiesbaden.
- WINKLER, H.A. (1978): Schwermetallgehalte in Donau-
Sedimenten. - Umschau in Wissenschaft
u. Technik 78:672-673; Frankfurt.
- WIRTZ, R. (1972): Beitrag zur Kenntnis der Paläosole im
Vogelsberg. - Abh. hess. L.-Amt Bodenforsch.
61, 159S.; Wiesbaden.
- YEDILER, A. (1978): Die Akkumulation von Zink in Pflanzen,
Sediment und Fischen. - Z.f. Wasser- und
Abwasserforsch., 11:11-13; Stuttgart.
- ZIMMERMANN, M. (1974): Photometrische Metall- und Wasser-
analysen. 3. neu bearb. u. erw. Aufl. m.
3. Erg. Lief. Loseblattslg.; Stuttgart.
- ZÜLLIG, H. (1956): Sedimente als Ausdruck des Zustands
eines Gewässers. - Schweiz. Z. Hydrol. 28:5-143;
Basel.

11. Anhang

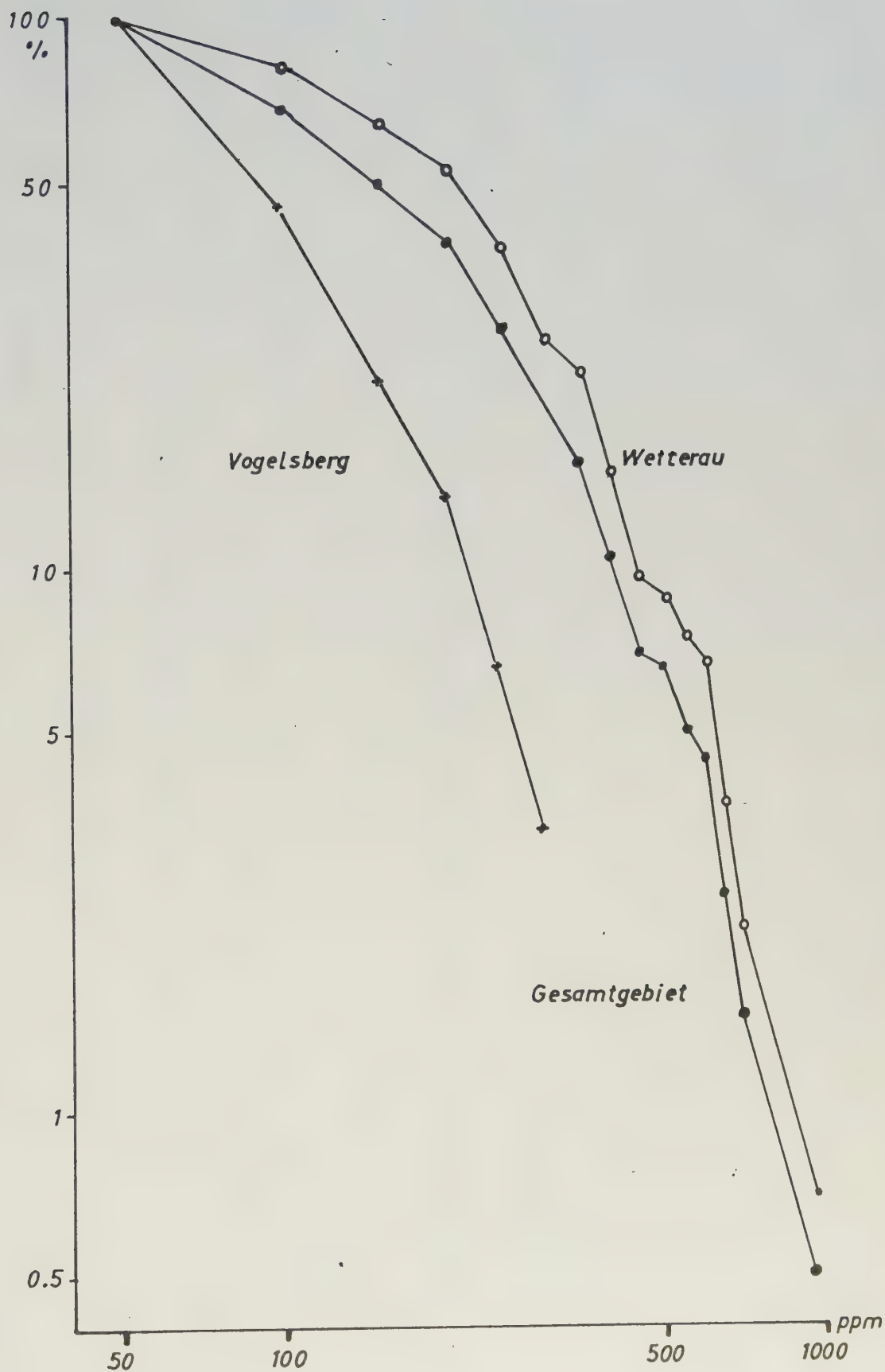
11.1 Auszug aus dem Source-Listing des Rechenprogramms zur Berechnung des geochemischen Backgrounds

	V	VV	V
752	0746	/	GEOCHEMISCHE BACKGROUNDBERECHNUNG
753	0747		
754	0748		
755	0749	*	KORREKTURFAKTOREN ZUR UMRECHNUNG VON RELATIVEN INTENSITÄTEN AUF % (SEMIQUANTITATIV LT. DR. JOHANNING)
756	0750	*	
757	0751		
758	0752		COMPUTE CALCIT = CALC1 * 0.5
759	0753		COMPUTE MAGNETIT = MAGNE + 15
760	0754		COMPUTE KALIFELDSPAT = KAFESPA * 0.6
761	0755		COMPUTE QUARZ = QUAR * 0.6
762	0756		
763	0757		
764	0758	*	KORREKTURFAKTOREN ZUR BERECHNUNG DER SCHWER- UND TONNINE=
765	0759	*	ANTEILE AN DER GESAMTPROBE
766	0760		
767	0761		COMPUTE SCHWER = SAND / 100 * GEHALT / 100 +
768	0762		SCHLUFF / 100 * GEHALT / 1000
769	0763		COMPUTE TOM1 = TON / 100
770	0764		
771	0765		
772	0766	*	
773	0767	*	BERECHNUNG DES CHROMBACKGROUNDS
774	0768	*	
775	0769		COMPUTE CHROM = (0.0001 * (PLAGIOKLAS + KALIFELDSPAT) +
776	0770		TOM1 * (MONTMORILLONIT * 0.0001 + ILLIT
777	0771		* 0.01 + 0.001 * (KAOLINIT + CHLORIT))
778	0772		+ SCHWER * (ZIRKON * 0.001 + 0.01 *
779	0773		(RUTIL + TURMALIN) + OLIVIN * 0.1 +
780	0774		AUGIT * 0.05) + MAGNETIT * 0.01) * 200
781	0775		
782	0776		
783	0777	*	
784	0778	*	BERECHNUNG DES NICKELBACKGROUNDS
785	0779	*	
786	0780		COMPUTE NICKEL = (0.001 * (PLAGIOKLAS + GOETHIT +
787	0781		HAEMATIT) + 0.0001 * (KALIFELDSPAT +
788	0782		QUARZ) + TOM1 * (ILLIT * 0.01 + CHLORIT
789	0783		* 0.1) + SCHWER * (STAUROLITH * 0.001 +
790	0784		0.1 * (PYRIT + OLIVIN) + AUGIT * 0.01) +
791	0785		MAGNETIT * 0.001) * 200
792	0786		
793	0787		
794	0788	*	
795	0789	*	BERECHNUNG DES KUPFERBACKGROUNDS
796	0790	*	
797	0791		COMPUTE KUPFER = (PLAGIOKLAS * 0.0062 + KALIFELDSPAT *
798	0792		0.0004 + QUARZ * 0.0002 + HAEMATIT *
799	0793		0.0001 + TOM1 * (ILLIT * 0.0086 + CHLORIT
800	0794		* 0.0036) + PYRIT * 0.1 + MAGNETIT * 0.01
801	0795		+ SCHWER * (TITANIT * 0.0001 + ZIRKON *
802	0796		0.001 + OLIVIN * 0.0115 + AUGIT * 0.012 +
803	0797		0.0078 * (BRAUNE-HORNBLLENDE +
804	0798		GRUENE-HORNBLLENDE))) * 100

	V	VV	V
805	0799	/	GEOCHEMISCHE BACKGROUNDBERECHNUNG
806	0800		
807	0801		
808	0802	*	
809	0803	*	BERECHNUNG DES ZINKBACKGROUNDS
810	0804	*	
811	0805		COMPUTE ZINK = (QUARZ * 0.0004 + KALIFELDSPAT * 0.0015 +
812	0806		PLAGIOKLAS * 0.0017 + TOMI * (CHLORIT *
813	0807		0.0059 + ILLIT * 0.0527 + MONTMORILLONIT *
814	0808		0.001 + KAOLINIT * 0.005) + 0.01 * (PYRIT
815	0809		+ MAGNETIT) + SCHWER * (0.01 * AUGIT +
816	0810		0.02 * (BRAUNE-HORNBLLENDE +
817	0811		GRUENE-HORNBLLENDE) + 0.0063 * OLIVIN +
818	0812		0.001 * TURMALIN) + 0.01 * CALCIT) * 200
819	0813		
820	0814		
821	0815	*	
822	0816	*	BERECHNUNG DES BLEIBACKGROUNDS
823	0817	*	
824	0818		COMPUTE HLEI = (0.0001 * QUARZ + 0.0053 * KALIFELDSPAT +
825	0819		0.002 * PLAGIOKLAS + 0.1 * PYRIT + 0.01 *
826	0820		MAGNETIT + TOMI * (0.002 * (MONTMORILLONIT
827	0821		+ ILLIT + CHLORIT)) + SCHWER * (0.0002 *
828	0822		OLIVIN + 0.0006 * AUGIT + 0.01 * ZIRKON +
829	0823		0.0011 * (BRAUNE-HORNBLLENDE +
830	0824		GRUENE-HORNBLLENDE)) * 100

11.2 Häufigkeitsverteilung, Summenkurven und statistische
Basiswerte für Blei, Chrom, Kupfer, Nickel und
Zink in den untersuchten Sedimenten des Niddagebietes

Summenkurven für Blei



HAUPTKONZENTRATIONEN VON CHROM IN BOFEDEN UND SEDIMENTEN DES NIEDERBERGES SCHRITTWEITE 50 PPM

=====	
UNTERGRUNDBEREICH 1 - 220 PPM 91,5%	
50 ***	ANZ 3 1,5
100 *****	52 20,0
150 *****	94 4,0
200 *****	29 14,5
250 *****	9 4,5
300 *****	8 4,0
350 ***	2 1,0
400 **	2 1,0
450 *	1 0,5
SUMME = 5 PPM MAXIMUM = 412 PPM MITTELWERT 152 PPM ANZAHL = 200	
=====	
SCHWELLENREGION 221 - 450 PPM 8,5%	

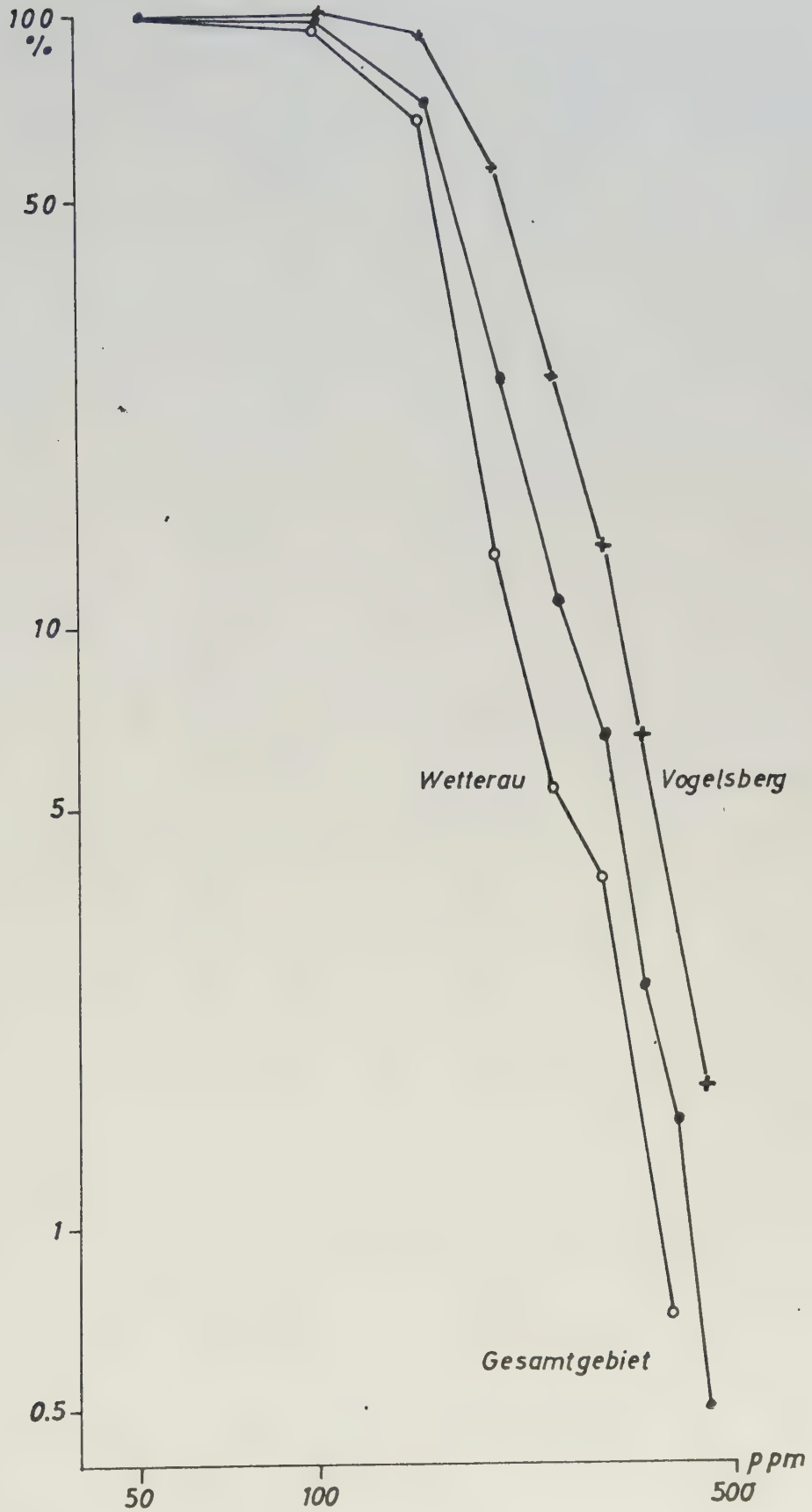
HAUPTKONZENTRATIONEN VON CHROM IN BOFEDEN UND SEDIMENTEN DER MITTEREN SCHRITTWEITE 50 PPM

=====	
UNTERGRUNDBEREICH 1 - 200 PPM 94,5%	
50 **	ANZ 2 1,5
100 *****	58 29,9
150 *****	70 35,1
200 *****	10 5,0
250 **	2 1,0
300 *****	2 1,0
350 **	4 2,0
400 *	0 0,0
450 *	1 0,5
SUMME = 5 PPM MAXIMUM = 394 PPM MITTELWERT 120 PPM ANZAHL = 127	
=====	
SCHWELLENREGION 201 - 400 PPM 5,5%	

HAUPTKONZENTRATIONEN VON CHROM IN BOFEDEN UND SEDIMENTEN DES VOGELBERGES SCHRITTWEITE 50 PPM

=====	
UNTERGRUNDBEREICH 1 - 250 PPM 86,8%	
50 ***	ANZ 0 0,0
100 *****	3 1,5
150 *****	22 11,0
200 *****	19 9,5
250 *****	7 3,5
300 *****	6 3,0
350 **	2 1,0
400 *	1 0,5
450 *	1 0,5
SUMME = 53 PPM MAXIMUM = 412 PPM MITTELWERT 172 PPM ANZAHL = 59	
=====	
SCHWELLENREGION 251 - 450 PPM 13,2%	

Summenkurven für Chrom



ANALYSEERESULTATE VON KUPFER IN GOLDEN UND SEDIMENTEN DES RUDNAGEBIETES SCHRITTLWEISE 50 PPM
=====

```

50 *****
60 *****
70 *****
120 *****
150 *****
180 *****
210 *****
240 *****
270 *****
300 *****
330 *****
    
```

MIN = 10 PPM MAXIMUM = 320 PPM MITTELWERT = 49 PPM MEDIAN = 41 PPM ANZAHL = 200
 UNTERGRUNDBEREICH 1 - 60 PPM 15,6%
 SCHWELLENREGION 61 - 150 PPM 24,6%
 ANOMALIEBEREICH > 151 PPM 1,5%

ANZ %

40	23,2
100	50,5
34	17,1
11	5,5
4	2,0
1	0,5
0	0,0
0	0,0
0	0,0
1	0,5

ANALYSEERESULTATE VON KUPFER IN GOLDEN UND SEDIMENTEN DER NETIKAU SCHRITTLWEISE 50 PPM
=====

```

50 *****
60 *****
70 *****
120 *****
150 *****
    
```

MIN = 10 PPM MAXIMUM = 129 PPM MITTELWERT = 51 PPM MEDIAN = 44 PPM ANZAHL = 127
 UNTERGRUNDBEREICH 1 - 60 PPM 68,8%
 SCHWELLENREGION 61 - 150 PPM 30,4%

ANZ %

26	20,5
60	48,0
26	20,5
9	7,2
4	3,2

ANALYSEERESULTATE VON KUPFER IN GOLDEN UND SEDIMENTEN DES VOGELSEERGES SCHRITTLWEISE 50 PPM
=====

```

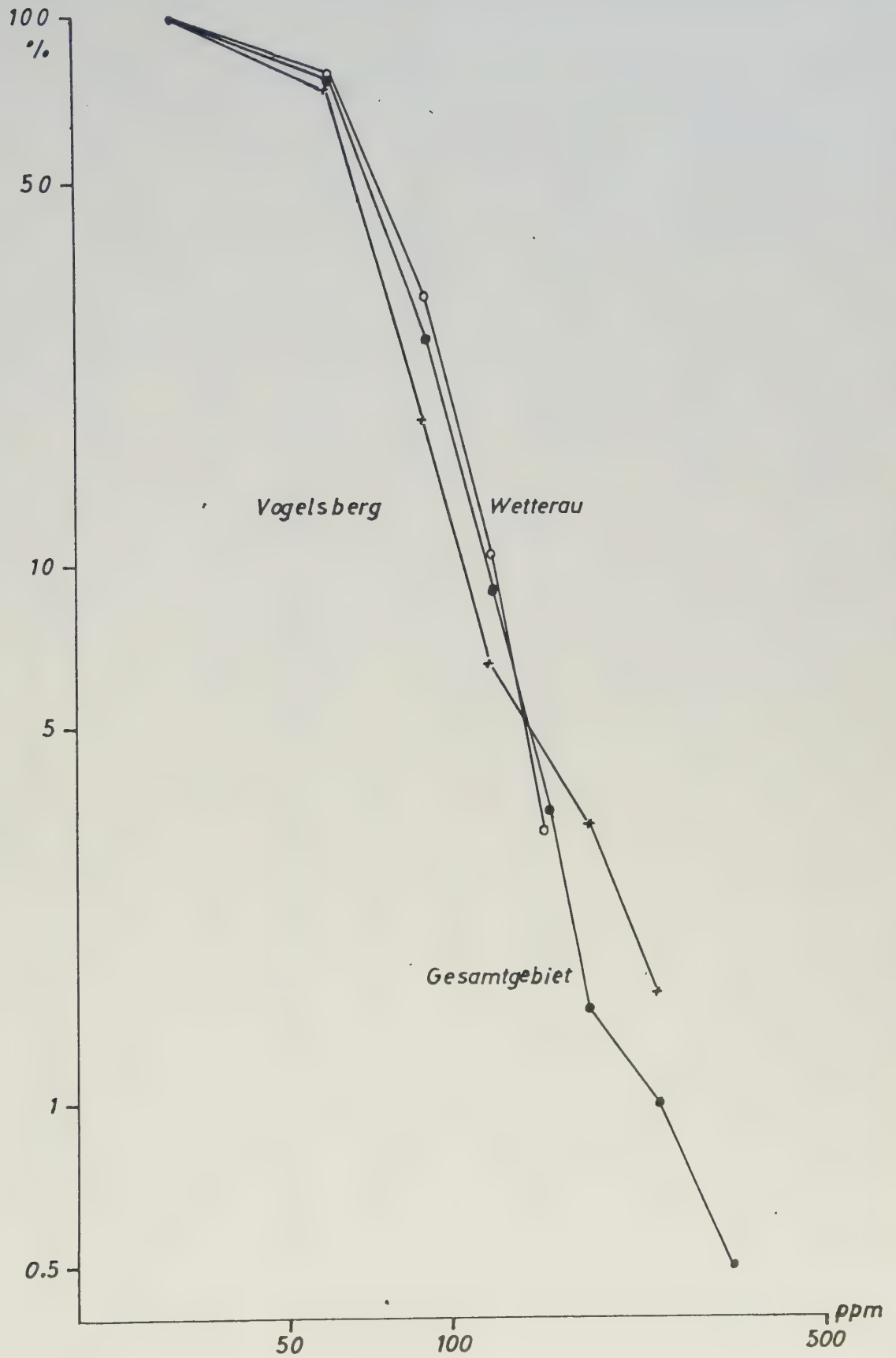
50 *****
60 *****
70 *****
120 *****
150 *****
180 *****
210 *****
    
```

MIN = 10 PPM MAXIMUM = 229 PPM MITTELWERT = 46 PPM MEDIAN = 38 PPM ANZAHL = 59
 UNTERGRUNDBEREICH 1 - 60 PPM 81,3%
 SCHWELLENREGION 61 - 150 PPM 15,1%
 ANOMALIEBEREICH > 151 PPM 3,2%

ANZ %

13	22,0
35	59,3
7	11,9
2	3,3
0	0,0
1	1,7
0	0,0

Summenkurven für Kupfer



KAPFENGEHALTSVERTEILUNG VON GLICKEL IN BOEDEN UND SEDIMENTEN DES GLENNBERGES SCHNITTWEITE 50 PPM
 =====

50 ***
 60 *****
 70 *****
 120 *****
 150 *****
 160 *****
 210 *****
 260 ***
 270 ***
 300 *
 350 *
 360 *
 390 *
 ANZ 4
 5 1,5
 48 24,0
 63 31,5
 58 19,0
 21 10,5
 15 7,5
 6 3,0
 3 1,5
 0 0,0
 1 0,5
 1 0,5
 0 0,0
 1 0,5
 UNTERGRUNDBEREICH 1 - 180 PPM 94,0%
 SCHWELLENREGION 181 - 390 PPM 6,0%
 MITTELWERT 95 PPM MEDIAN = 80 PPM ANZAHL = 200

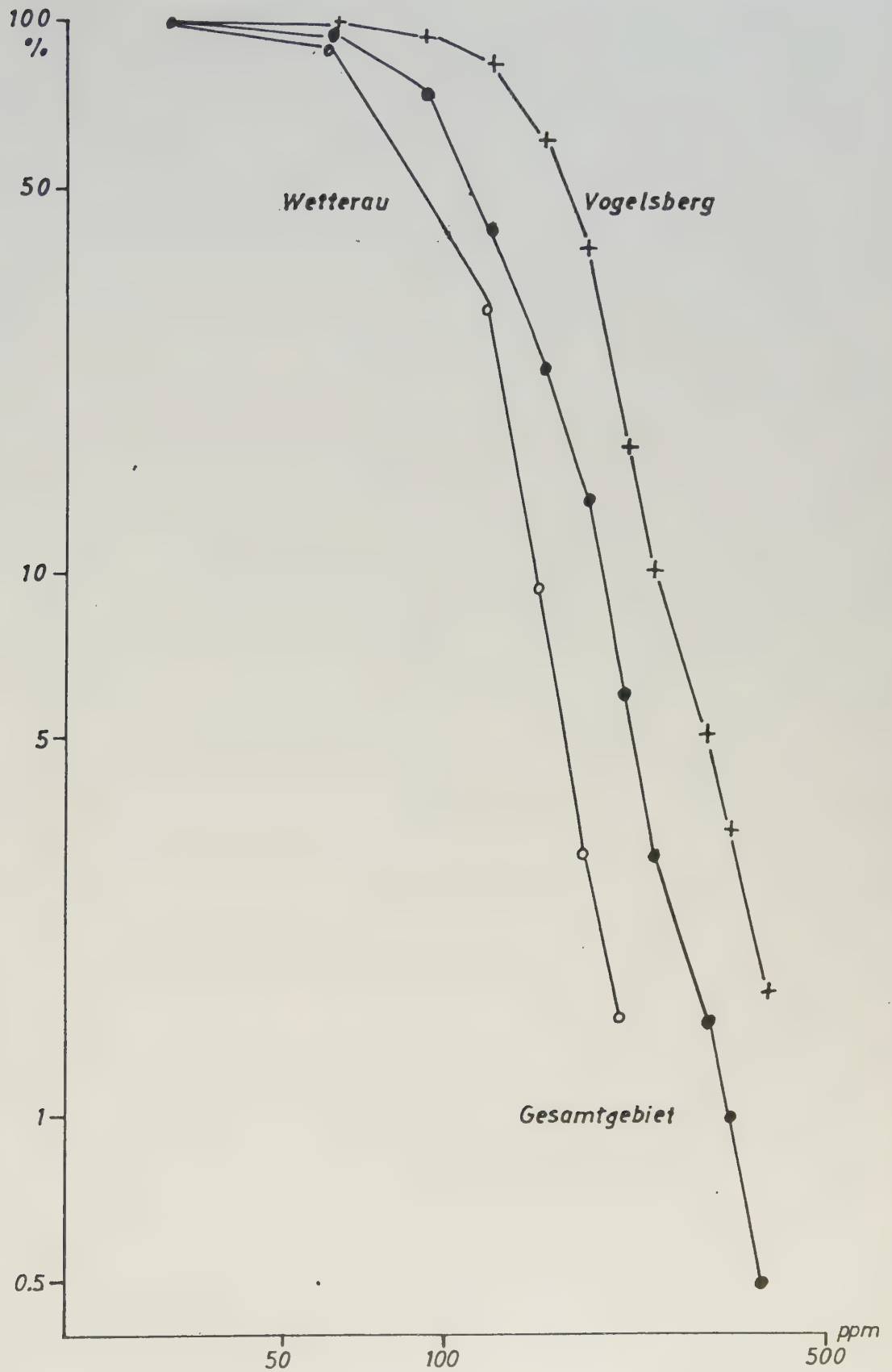
KAPFENGEHALTSVERTEILUNG VON GLICKEL IN BOEDEN UND SEDIMENTEN DER WETTERAU SCHNITTWEITE 50 PPM
 =====

50 *
 60 *****
 70 *****
 120 *****
 150 *****
 160 ***
 210 **
 ANZ 4
 1 0,1
 36 20,1
 54 42,1
 25 19,5
 6 6,2
 2 1,5
 2 1,5
 UNTERGRUNDBEREICH 1 - 120 PPM 90,4%
 SCHWELLENREGION 121 - 210 PPM 9,2%
 MITTELWERT 76 PPM MEDIAN = 72 PPM ANZAHL = 127

KAPFENGEHALTSVERTEILUNG VON GLICKEL IN BOEDEN UND SEDIMENTEN DES VORBERGES SCHNITTWEITE 50 PPM
 =====

50 *
 60 *
 70 *****
 120 *****
 150 *****
 160 *****
 210 *****
 260 ***
 270 ***
 300 *
 350 *
 360 *
 390 *
 ANZ 4
 0 0,0
 1 1,7
 8 15,7
 13 22,6
 13 22,6
 13 22,6
 4 6,8
 3 5,1
 0 0,0
 1 1,7
 1 1,7
 0 0,0
 1 1,7
 UNTERGRUNDBEREICH 1 - 210 PPM 89,4%
 SCHWELLENREGION 211 - 390 PPM 10,2%
 MITTELWERT 142 PPM MEDIAN = 127 PPM ANZAHL = 59

Summkurven für Nickel



STATISTIKVERTEILUNG VON ZUR 1. KOLLEKTION SERIEN DER SCHWELLEN 100 PPM
=====

100 *****

200 *****

300 *****

400 *****

500 *****

600 *****

700 *****

800 *****

900 *****

1000 *****

1100 *****

1200 *****

1300 *****

1400 *****

1500 *****

1600 *****

1700 *****

1800 *****

1900 *****

2000 *****

2100 *****

2200 *****

2300 *****

2400 *****

2500 *****

2600 *****

2700 *****

UNTERGRENZBEREICH 1 - 230 PPM 52,54

SCHWELLENBEREICH 231 - 500 PPM 51,54

ANOMALIEBEREICH > 501 PPM 16,04

ANZ 4

22 11,0

60 30,0

59 19,5

54 17,0

13 6,5

9 4,5

6 3,0

0 0,0

2 1,0

2 1,0

1 0,5

0 0,0

3 1,5

1 0,5

0 0,0

0 0,0

0 0,0

0 0,0

0 0,0

0 0,0

0 0,0

0 0,0

0 0,0

0 0,0

0 0,0

0 0,0

0 0,0

0 0,0

0 0,0

0 0,0

0 0,0

0 0,0

0 0,0

0 0,0

0 0,0

0 0,0

0 0,0

0 0,0

0 0,0

0 0,0

0 0,0

0 0,0

0 0,0

STATISTIKVERTEILUNG VON ZUR 1. KOLLEKTION SERIEN DER SCHWELLEN 100 PPM
=====

100 *****

200 *****

300 *****

400 *****

500 *****

600 *****

700 *****

800 *****

900 *****

1000 *****

1100 *****

1200 *****

1300 *****

1400 *****

1500 *****

1600 *****

1700 *****

1800 *****

1900 *****

2000 *****

2100 *****

2200 *****

2300 *****

ANZ 6

0	52	51	22	7	9	4
0	25	25	11	5	1	1

32 25.
51 25.
22 11.
7 5.

55

[illegible]

Am 6

10	10
21	55
7	11
11	10
0	10
0	0

2155, 111

11 10 11

2000

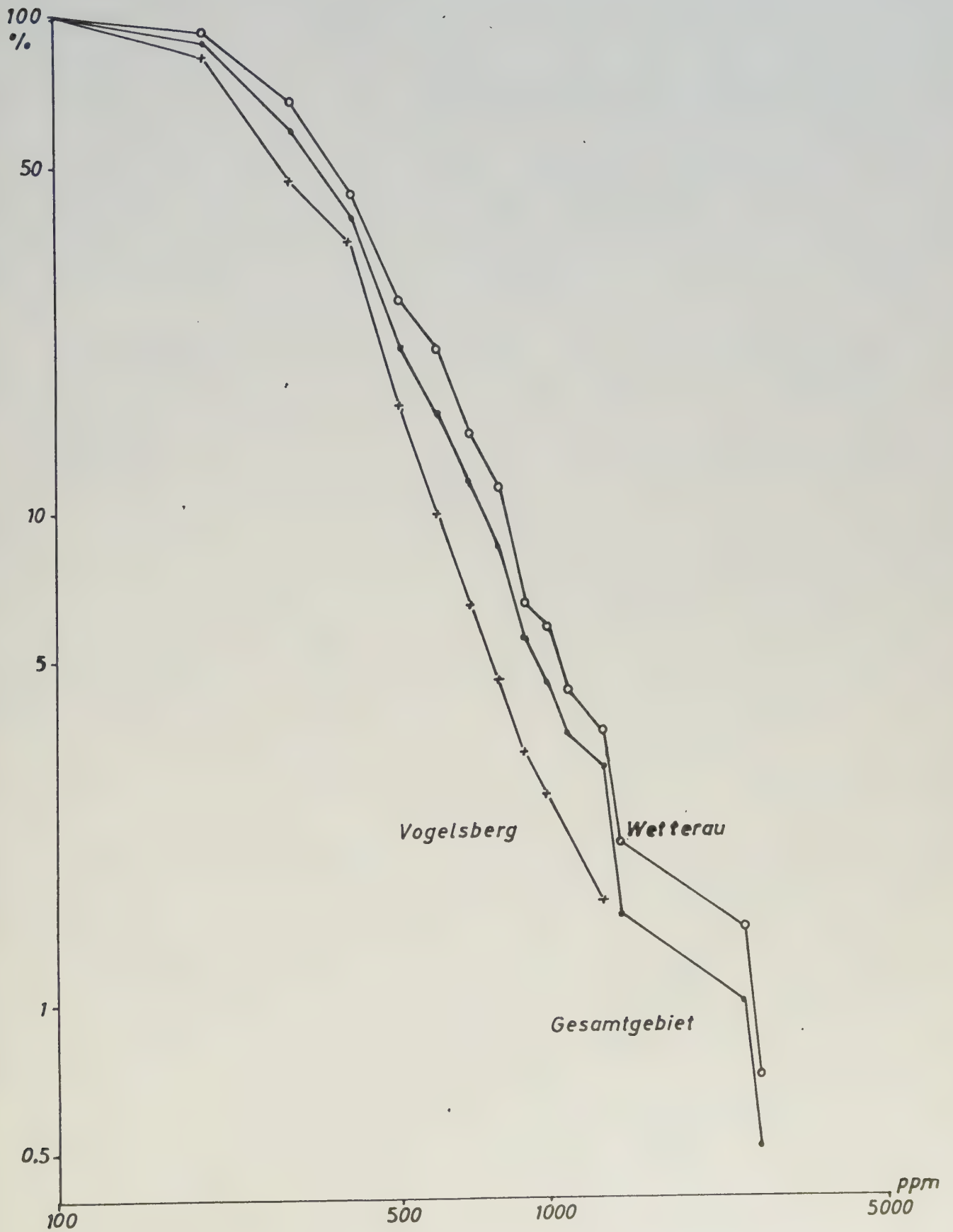
2000

— 3 —

二、三

—

Summenkurven für Zink



L e b e n s l a u f

Name: Michael Franz Schreiber
geb. 31.8.1951 in Frankfurt/Main

Eltern: Georg Schreiber Mechaniker
Hildegard Schreiber

Familienstand: verheiratet
3 Kinder

Schulbesuch: ab 1958. 1971 Abitur am Heinrich
von Gagern-Gymnasium in Frankfurt

Studium: WS 71/72 - WS 78/79 an der Johann
Wolfgang Goethe-Universität in
Frankfurt
Fächer: Geographie, Hydrologie,
Bodenkunde, Germanistik
(Schwerpunkte), Geologie,
Pädagogik, Politik
Mai 1977: 1. Staatsexamen für das
Lehramt an Gymnasien
(Sekundarstufe II)
WS 77/78 - WS 78/79 Promotionsstudium

Berufliche Weiterbildung: 1980 Control Data Institut/Ffm
Fachlehrgänge Programmierungs-
technologie und Systemanalyse

Arbeitsverhältnisse: 1977-1979 wissenschaftlicher Ange-
stellter am Institut für Physische
Geographie beim Lehrstuhl für
Hydrologie
seit 1981 als Systemanalytiker,
Programmierer tätig.

